

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ
TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

Hornicko – geologická fakulta

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Ostrava 2011

Bc. Pavel Bartoš

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ
TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

Hornicko – geologická fakulta

Institut geodézie a důlního měřictví

**Ověření funkčnosti měření GPS při elektromagnetických projevech
atmosférických jevů**

Diplomová práce

Autor:

Bc. Pavel Bartoš

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Václav Mikulénka, Ph.D.

Ostrava 2011

Summary

Submitted master thesis is deal with verification of functionality of GPS observation at electromagnetic behavior of atmospheric effects. In the first part is analyzed GNSS technology in general way. The second part is focus on elaboration and interpretation of findings of length different array.

Keywords

GNSS, array, camber

Anotace

Předložená diplomová práce se zabývá ověřením funkčnosti měření GPS při elektromagnetických projevech atmosférických jevů. V první části je rozebrána technologie GNSS obecným způsobem. Druhá část je zaměřena na zpracování a vyhodnocení výsledků délkově rozdílných vektorů.

Klíčová slova

GNSS, vektor, převýšení

Poděkování:

Na tomto místě bych chtěl poděkovat Ing. Václavu Mikulenkovi, Ph.D. za vedení diplomové práce, společností Geodis Brno s.r.o. a ČUZK za poskytnutá data a Ing. Lucii Vřešťálové za rady při zpracování.

Prohlášení :

Celou diplomovou práci, včetně příloh, jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady.

Byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/200 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 - využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školního představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, diplomovou práci užít (paragraf 35 odst.3).

Souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé diplomové práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB TUO.

Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít své dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.

Bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB – TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB – TUO na vytvoření vynaloženy (až do její skutečné výše).

V Ostravě 29.4.2011


.....

vlastnoruční podpis

Obsah

1. Úvod.....	9
2. Globální navigační satelitní systémy	10
2.1. Kosmický segment.....	10
2.2. Řídící segment	11
2.3. Uživatelský segment	12
3. Časový systém GNSS	12
3.1. Čas GNSS	13
3.2. Družicový čas	13
4. Určování polohy	13
4.1. Absolutní určování polohy.....	14
4.2. Relativní určování polohy.....	14
5. Principy měření.....	15
5.1. Družicový signál[6]	15
5.2. Kódová měření.....	16
5.2.1. C/A kód.....	17
5.2.2. P – kód	17
5.2.3. Y – kód.....	17
5.3. Fázová měření.....	18
5.3.1. Vytváření diferencí	18
trojitá difference	18
5.3.2. Řešení ambiguit	19
5.4. Dopplerovská měření.....	20
6. Faktory ovlivňující přesnost systému GNSS	20
6.1. Řízení přístupu k signálům z družic	21
6.1.1. Selektivní dostupnost.....	21

6.1.2.	Anti-Spoofing	22
6.2.	Stav družic	22
6.3.	Rozsah přesnosti měření	22
6.4.	Poměr signál/šum.....	23
6.5.	Vícecestné šíření	23
6.6.	Počet viditelných družic.....	23
6.7.	Geometrické uspořádání viditelných družic	23
6.8.	Platnost efemerid	24
6.9.	Vliv atmosféry	24
7.	Sítě permanentních GNSS stanic v ČR.....	26
7.1.	Česká síť permanentních stanic GNSS – CZEPOS[7],[5].....	26
7.1.1.	Rozložení stanic	26
7.1.2.	Vybavení sítě	28
7.2.	TopNet	29
7.2.1.	Popis a vybavení sítě.....	29
8.	Vyhodnocení dat	30
8.1.	Příprava dat	30
8.1.1.	Rinex	31
8.2.	Úprava dat a výpočty	31
8.3.	Ověření funkčnosti.....	33
9.	Závěr	46
10.	Seznam použité literatury	47
11.	Seznam obrázků.....	48
12.	Seznam tabulek	49
13.	Přílohy.....	50

Seznam použitých zkratk

CPRG	Permanentní stanice Praha CZEPOS
CRAK	Permanentní stanice Rakovník CZEPOS
CZEPOS	Síť permanentních stanic
DOP	Dilution of Precision (snížení přesnosti)
EPOSA	Síť permanentních stanic v Rakousku
ETRF 2000	Evropský terestrický referenční rámec
Galileo	Evropský navigační satelitní systém
Geonas	Síť permanentních stanic
Glonass	Ruský navigační satelitní systém
GNSS	Globální navigační satelitní systém
GPS	Globální polohový systém
H.prec	Horizontal Precision
Navstar	Americký navigační satelitní systém
RTK	Real Time Kinematic
S-JTSK	Souřadnicový systém Jednotné trigonometrické sítě katastrální
TAI	Mezinárodní atomový čas
TEC	Total Electron Content
TopNet	Síť permanentních stanic
TPRA	Permanentní stanice Praha TopNet
TRAK	Permanentní stanice Rakovník TopNet
UTC	Universal Coordinated Time
V.prec	Vertical Precision
VRS	Virtuální referenční stanice
VÚGTK	Výzkumný ústav geodetický, topografický a kartografický
WGS-84	Celosvětový geocentrický souřadnicový systém

1. Úvod

V posledních letech se technologie GNSS stala nedílnou součástí zeměměřických prací. Tato technologie umožňuje dostatečně přesné měření pro bývalou třetí třídu přesnosti, v závislosti na použité metodě. Používá se jak při budování bodových polí, tak při vytyčování. V České republice jsou vybudovány sítě permanentních stanic, které se využívají při tvorbě transformačních klíčů pro dané měřené území. Data z těchto stanic jsou použitelná pro měření v reálném čase i pro post-processing. Největší výhodou pro geodety je, že použijí tyto stanice jako referenční a k měření jim stačí pouze jedna vlastní aparatura, což snižuje náklady na vybavení i zaměstnance. Nevýhodou této technologie je ovlivňování přenášeného signálu mnoha faktory. Pro geodeta je velmi důležité, jestli se může na poskytovaná data spolehnout nebo zda musí zavést příslušné opravy, popř. opakovat měření za přijatelnějších observačních podmínek. V letním období se geodet setkává s výraznou bouřkovou činností, což má za následek změnu atmosférických podmínek. Proto by mohlo být ovlivněno šíření signálu od družic ke stanicím a tím i ovlivněna přesnost vlastního měření.

Cílem této diplomové práce je ověřit funkčnost měření pomocí technologie GNSS v závislosti na bouřkové činnosti. Pro výpočet jsou použita data ze sítí permanentních GNSS stanic v České republice. Jedná se o sítě CZEPOS a TopNet. V síti Trimble VRS NOW toto ověření nebylo zhotoveno, protože data jsou zálohována pouze měsíc a pro dané požadavky nebyly k dispozici.

2. Globální navigační satelitní systémy

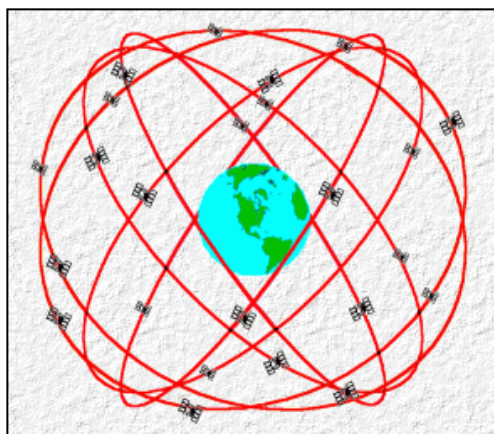
Globální navigační satelitní systém (GNSS) je systém, který umožňuje komukoliv určit jeho aktuální polohové souřadnice na Zemi nebo pohybujících se objektech. V dnešní době existují tři navigační systémy – americký Navstar GPS, ruský Glonass a evropský Galileo. Jako první byl vynalezen americký systém. Jeho původní využití bylo pouze pro armádní účely, později byl zpřístupněn i pro jiné než vojenské využití. Snaha vybudovat systémy Glonass a Galileo bylo z důvodu vlastní nezávislosti. Systém GNSS se používá v řadě oborů, jako je geodézie, časové služby, doprava, zvládání krizových situací, atd.

Družicové polohové systémy jsou složeny ze tří základních segmentů:

1. kosmický,
2. řídicí,
3. uživatelský.

2.1. Kosmický segment

Kosmický segment je tvořen soustavou družic, které obíhají Zemi po předem definovaných a určených drahách. Kosmický segment je definován typem oběžných drah, počtem a rozmístěním družic na oběžných drahách, výškou, sklonem a počtem oběžných drah. Systém Navstar GPS tvoří 24 družic a 4 náhradní družice. Družice se pohybují po šesti drahách, odkloněných o 55° k rovníku a ve výšce 20200 km nad povrchem Země. Celý segment je tvořen tak, aby z každého místa na Zemi byly viděny alespoň 4 družice, letící 15° nad obzorem, což je minimální počet pro určení polohy v prostoru. U kosmického segmentu jde dobře modelovat jeho chování a určovat přesné parametry oběžných drah. Rozmístění družic na oběžných drahách je zobrazeno na obrázku č. 1



Obrázek 1- Rozmístění družic[6]

2.2. Řídící segment

Hlavním úkolem řídicího segmentu je aktualizace údajů obsažených v navigačních zprávách, které jsou vysílány jednotlivými družicemi kosmického segmentu. Je tvořen sadou pozemních stanic.

Rozlišujeme tři typy těchto stanic:

1. monitorovací stanice – monitorují signály družic a přenášejí je do centra
2. hlavní řídicí stanice – zpracovává signály z monitorovacích stanic
3. stanice pro komunikaci s družicemi – přenáší nově určené parametry oběžných drah a korekční parametry atomových hodin

V současné době existují monitorovací sítě pro přesnější určování polohy (geodézie, geodynamika). Tyto sítě se nepodílí na řízení a činnosti systému GNSS.

2.3. Uživatelský segment

Uživatelský segment se skládá z GNSS přijímačů, uživatelů a vyhodnocovacích nástrojů. GNSS přijímače se skládají z antény, procesoru a stabilních hodin. Přesné určení polohy se zajistí použitím referenčních přijímačů, které jsou umístěny na místech o známé poloze. Ty nám pak umožní získat korekce pro opravu výpočtů.

Uživatelský segment se dělí do tří skupin podle:

nosných frekvencí: - jednofrekvenční (vlna L1)

- dvoufrekvenční (vlny L1, L2, L2c, L3, L4, L5)

kódu přijímače: - bez kódu

- s C/A kódem

- s C/A a P kódem

počtu současně přijímaných družic: - jednokanálové

- vícekanálové

3. Časový systém GNSS

Dnes rozlišujeme dva základní způsoby odvozování času. Z pohybu Země, což je astronomický čas a z kmitočtu atomů, což je mezinárodní atomový čas – TAI. Z důvodu synchronizace těchto dvou časových škál byla zavedena nová časová škála – univerzální koordinovaný čas (Universal Coordinated Time - UTC). Jde o hybridní časovou škálu, ve které je čas sledován atomovými hodinami a je opravován tak, aby byl v souladu

s astronomickým časem. Pro opravy se zavedly tzv. přestupné sekundy, z důvodu nepravidelné rotace Země.

3.1. Čas GNSS

Čas GNSS je řízen hlavními kontrolními hodinami, se kterými jsou synchronizované hodiny jednotlivých družic. Čas GNSS se uvádí v týdnech a sekundách uplynutých od 00:00:00 5. ledna 1980. S časem UTC je synchronizován na jednu mikrosekundu, ale z důvodu mechanismu přestupných vteřin se s časem UTC postupně rozchází. Navigační zprávy družic obsahují údaje, jež slouží k přepočítání času GNSS na čas UTC, a tím eliminují rozdíl jednotlivých časů.

3.2. Družicový čas

Družicový čas je pro každou družici samostatný. Každá družice obsahuje čtyři atomové hodiny (dvoje cesiové a dvoje rubidiové). Navigační zpráva družice obsahuje informace pro korekce posunu mezi družicovým časem a GNSS časem. Družicové časy jsou sledovány pozemními monitorovacími stanicemi a popř. upraveny tak, aby rozdíl mezi jednotlivými časy byl menší než jedna milisekunda.

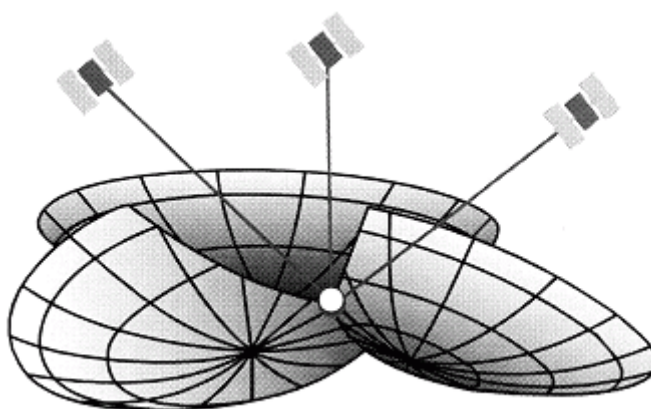
4. Určování polohy

Pro určení polohy pomocí GNSS musí být nejdříve definován souřadnicový systém, ke kterému budou vztaženy všechny výpočty. Kosmický segment pracuje v systému, který má střed ve středu sluneční soustavy. Řídící a uživatelský segment pracuje s geocentrickým systémem, který je spojen se zemským tělesem. Proto musí být zavedena transformace mezi těmito systémy, což řeší provozovatel systému. GNSS přijímače pracují v systému WGS – 84 (World Geodetic System - 1984). Transformace do systému S - JTSK se řeší následně pomocí převodních programů, protože neexistuje přijímač, který by

prováděl transformace automaticky. Systém S-JTSK je „lokální“ systém používaný v ČR a SR. Tento souřadnicový systém je definován Besselovým elipsoidem a Křovákovým zobrazením, což je dvojité konformní kuželové zobrazení v obecné poloze.

4.1. Absolutní určování polohy

Absolutní poloha přijímače se určuje pomocí zdánlivých vzdáleností (pseudovzdáleností) získaných pomocí kódových měření. Při zanedbání všech ovlivňujících faktorů měření, můžeme teoreticky polohu určit měřením pouze na tři družice. Výsledná poloha je průnik tří kulových ploch. V praxi se projevuje chyba hodin družice a přijímače. Časový posun ΔT je známý, a proto je možné časové údaje dodatečně korigovat. Pro určení zcela správné polohy musíme měřit na čtyři družice, abychom dostali soustavu čtyř rovnic o čtyřech neznámých. A řešením této soustavy získali jednoznačně určené místo v prostoru.



Obrázek 2 - Princip stanovení polohy[3]

4.2. Relativní určování polohy

Relativní určování polohy je založeno na kódových měřeních. Jedná se o relativní určení polohy vzhledem k pevně známému bodu. Korekce kódových měření se určují pomocí referenčního přijímače (referenční stanice). Výsledné korekce je možné přenášet do druhého přijímače a pomocí nich opravit jeho měření. Relativní určení polohy dosahuje

vyšších přesností v určení polohy přijímače než určování absolutní. Metoda se výrazně zpřesní použitím fázového měření. Tímto se dá dosáhnout až milimetrové přesnosti v určení vzájemné polohy.

5. Principy měření

Určování vzdáleností přijímače od družic se provádí na základě měření kódových, fázových a dopplerovských. V praxi se k tomuto určování používají pouze kódová a fázová měření. Dopplerovská měření se používají pro stanovování rychlosti pohybu přijímače.

5.1. Družicový signál[6]

Každý signál vyslaný družicí GNSS je kombinací nosné vlny, dálkoměrného kódu a navigační zprávy. Všechny složky družicového signálu jsou odvozeny od základní frekvence družicového oscilátoru f_0 .

Družice vysílají signály na dvou nosných frekvencích L1 a L2. Frekvence L1 (1575,42 MHz) přenáší C/A kód (Coarse/Acquisition Code – hrubý/volný kód) s modulací 1,023 MHz a P-kód (Precision Code – přesný kód) s modulací 10,23 MHz. P-kód může být pro vojenské účely zašifrován (nese označení Y-kód). Frekvence L2 (1227,6 MHz) přenáší pouze P-kód (resp. Y-kód). Na nosných frekvencích L1 a L2 je také namodulována navigační zpráva.

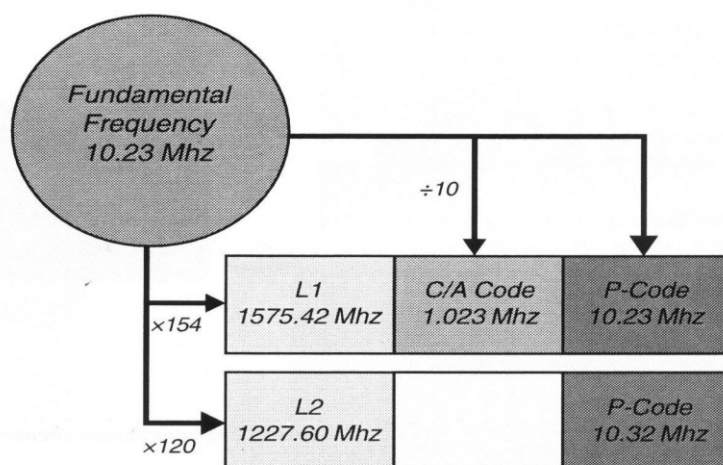
Navigační zpráva je datová zpráva přenášená v rámci signálů vysílaných družicemi GNSS. Data obsahují mimo jiné efemeridy družice, korekce hodin na družici, almanach a celou řadu dalších informací o družicích a jejich signálech. [13]

Frekvence L1 je také označována jako SPS (Standart Position Service – standardní polohová služba) a frekvence L2 jako PPS (Precise Position System – přesný polohový systém).

Signál můžeme popsat těmito rovnicemi:

$$\begin{aligned} L_1(t) &= a_p P(t) D(t) \cos 2\pi(f_1 t) + a_c C(t) D(t) \cos 2\pi(f_2 t) \\ L_2(t) &= b_p P(t) D(t) \cos 2\pi(f_2 t) \end{aligned} ,$$

kde f_1, f_2 jsou frekvence, $D(t)$ navigační zpráva, $P(t)$ P-kód, $C(t)$ C-kód, a_i a b_i amplitudy signálu.



Obrázek 3 - Struktura družicového signálu[3]

5.2. Kódová měření

Principem kódových měření je určování vzdáleností mezi družicemi a přijímačem. Využívají se k tomu tzv. dálkoměrné kódy, které jsou vysílány jednotlivými družicemi. Přijímač je schopný pomocí nich určit čas, kdy byl odeslán signál z družice. Z rozdílu času odeslání a přijetí signálu určí vzdálenost mezi přijímačem a družicí dle vztahu

$$d_i = \Delta t_i \cdot c,$$

kde d_i ... vzdálenost mezi přijímačem a družicí,

Δt_i ... časový rozdíl,

c ... rychlost šíření radiových vln.

5.2.1. C/A kód

C/A kód je digitální kód, který se jeví jako náhodný, ale ve skutečnosti není náhodný. C/A kód moduluje nosnou frekvenci L1 a opakuje se každou milisekundu. Je dlouhý 1023 bitů a jeho frekvence je 1,023 MHz. Rovnice pro dekódování jsou známy, a proto je běžně používán pro civilní aplikace. C/A kód je základní signál pro standardní polohovou službu. Každá družice má svůj vlastní C/A kód.

„Kód se využívá pro navigaci s nižší přesností a pro časovou synchronizaci. Pomocí C/A kódu je možné přečíst navigační zprávu a umožňuje rychlou orientaci v P-kódu.“[6]

5.2.2. P – kód

P-kód přenáší obě nosné frekvence L1, L2. V dnešní době jsou rovnice pro dekódování známy, takže je využitelný pro civilní účely. Kódová měření s P- kódem jsou asi desetkrát přesnější než u kódového měření s C/A kódem, a to díky použití rychlejšího a delšího kódu a také díky možnosti měřit na obou nosných frekvencích L1 a L2.[6]. Je vysílán frekvencí 10,23 MHz a opakuje se každých sedm dní. P – kód umožňuje měřit zdánlivou vzdálenost mezi přijímačem a družicí s vyšší přesností, a to ze dvou důvodů[4]:

1. použití rychlejšího a delšího kódu
2. možnost měřit na obou nosných frekvencích L1 a L2, což umožňuje podstatně omezit vliv ionosférické refrakce.

Ionosférická refrakce je změna rychlosti šíření radiových vln při průchodu ionosférou.[13] P-kód není náchylný na šumy a je odolnější proti interferencím.

5.2.3. Y – kód

Y- kód je šifrovaný P – kód a je základem přesné polohové služby. Rovnice pro dekódování jsou tajné a přístup k nim mají pouze autorizovaní uživatelé. Když armáda aktivuje Y – kód, civilní uživatelé nemohou využívat ani Y – kód ani P – kód.

5.3. Fázová měření

Fázová měření nepracují s dálkoměrnými kódy, ale zpracovávají vlastní nosné vlny. Princip měření spočívá v určení počtu celých nosných vlnových délek nosné vlny a desetinné části. Tyto desetinné části je aparatura schopna určit relativně velmi přesně. Určení počtu celých nosných vln vykazuje nejednoznačnost, proto se musí řešit tzv. ambiguity. Při tomto měření nesmí dojít k přerušení signálu. Kdyby k tomu došlo, nastane tzv. fázový skok a aparatura by nesprávně určila celočíselný násobek vlnové délky. Fázové měření je mnohem přesnější než měření kódové. Vzdálenost mezi družicí a přijímačem je možné určit až s milimetrovou přesností.

5.3.1. Vytváření diferencí

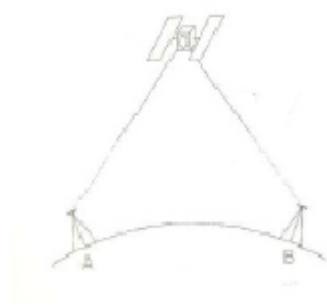
Každé měření je ovlivněno systematickými a náhodnými chybami. Některé chyby lze eliminovat vytvářením diferencí.

Typy diferencí: jednoduchá difference

dvojitá difference

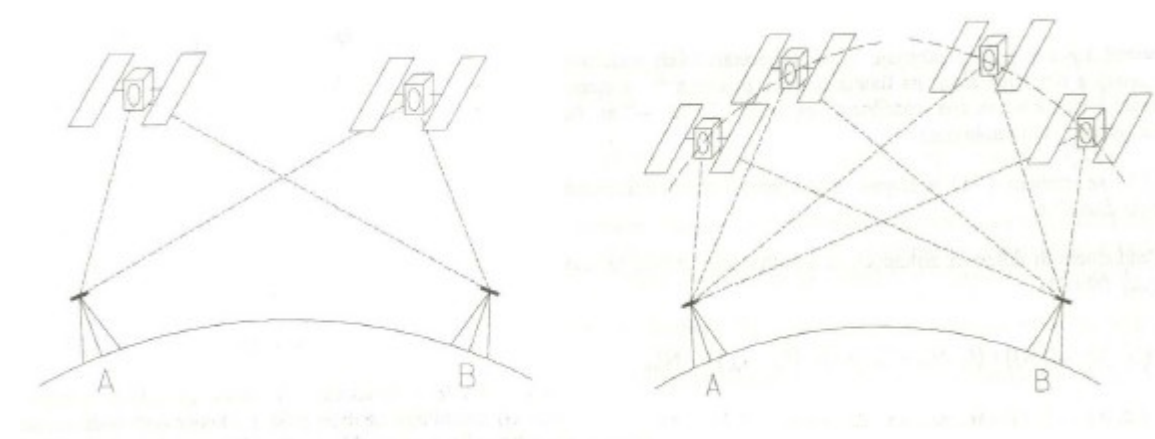
trojitá difference

Jednoduchá difference se určí za předpokladu, že signál z jedné družice je přijímán ze dvou míst zároveň. Z rozdílu základních rovnic pro měření fázových rozdílů dostaneme rovnici pro jednoduchou difference.



Obrázek 4 - Jednoduchá difference

Dvojitě difference dostaneme z rozdílu dvou jednoduchých diferencí, měřených na dvě družice. Trojitě difference získáme rozdílem dvojitých diferencí zaměřených ve dvou odlišných časech. Výsledky trojitých diferencí dosahují horší přesnosti než výsledky diferencí dvojitých a jednoduchých.



Obrázek 5 - Vlevo dvojitá difference, vpravo trojitá difference

Přehled vyloučených a zmenšených vlivu při různých diferencích udává tabulka č. 1.[2]

Tabulka 1 - Přehled vyloučených a zmenšených vlivů při různých diferencích

Název difference při fázových měřeních	Vyloučené a zmenšené vlivy
jednoduché difference	chyby hodin družice troposféra a ionosféra
dvojitě difference	chyby hodin družice chyby hodin přijímačů troposféra a ionosféra
trojitě difference	chyby hodin družic chyby hodin přijímačů počet celých cyklů troposféra a ionosféra

5.3.2. Řešení ambiguit

Pro určování ambiguit existuje řada metod. Tyto metody se liší podle délky měření na stanovišti. Při velmi dlouhých měření je k dispozici velké množství dat, a tudíž je směrodatná odchylka v určení ambiguit menší než jeden cyklus. Při kratších měřeních je tato chyba větší. Ambiguity se nejdříve počítají s ostatními parametry metodou nejmenších

čtverců. Z vyrovnaní jsou určeny racionální hodnoty ambiguit. K těmto hodnotám se najdou celočíselné hodnoty ambiguit. Po nalezení správných hodnot ambiguit se opakuje vyrovnaní nejmenších čtverců, z něhož se určí finální souřadnice a výška stanoviště. Tímto se přesnost vyrovnaných parametrů může zvýšit až několikanásobně. Níže jsou uvedeny metody řešení ambiguit. Popis těchto metod je uveden v [1, s 150-156].

Metody řešení ambiguit: Řešení wide-lane a narrow-lane ambiguit

„Search“ strategie (Fast Ambiguity Resolution Approach)

Ambiguity Function Method

Vyhledání ambiguit s použitím Kalmanova filtru

Quasi-Ionosphere-Free (QIF) strategie pro řešení ambiguit

5.4. Dopplerovská měření

Družicové polohové systémy mohou využívat k určování polohy Dopplerův posun. V důsledku relativního pohybu družice vzhledem k GNSS aparatuře se mění frekvence signálu. Dopplerův posun frekvence na nosné vlně je po určitou dobu měřen a na základě takto získaných údajů je vypočtena změna radiální vzdálenosti mezi přijímačem a družicí. Poloha přijímače je poté vypočtena z rozdílů vzdáleností. Dopplerovská měření se využívají k určení rychlosti pohybu přijímače.

„Efekt orientace a fázového centra antény -fázová měření závisí na orientaci antén vysílače, přijímače a směru odkud signál přichází. Obecně jsou korekce závislé na vysílané frekvenci, výšce družice nad obzorem a azimutu družice. Vliv dosahuje řádu mm v poloze a cm ve výšce. Eliminuje se orientací antén do stejného směru.“[6]

6. Faktory ovlivňující přesnost systému GNSS

Existuje spousta vlivů, které ovlivňují přesnost měření GNSS. Výsledná přesnost je závislá na použitém zařízení, způsobu měření a zpracování výsledků apod. Všechna měření

jsou ovlivněna systematickými a náhodnými chybami. Zvýšením počtu měření snížíme vliv náhodných chyb měření.

Přesnost určování polohy a času pomocí systému GNSS je ovlivněno následujícími faktory[4]:

1. Řízení přístupu k signálům z družic
2. Stav družic
3. Rozsah přesnosti měření
4. Poměr signál/šum
5. Vícecestné šíření
6. Počet viditelných družic
7. Geometrické uspořádání viditelných družic
8. Typ přijímače
9. Pečlivost přípravy plánu měření
10. Platnost efemerid
11. Přesnost určení efemerid
12. Přesnost hodin na družicích
13. Vliv ionosféry a troposféry
14. Chyba hodin přijímače
15. Způsob měření a vyhodnocování

6.1. Řízení přístupu k signálům z družic

Již při budování systému GNSS bylo rozhodnuto, že do něj budou zabudovány mechanismy, které umožní znepřístupnění neautorizovaným uživatelům. Bylo to především z důvodu jeho původního použití pro vojenské účely. Byly vytvořeny dva mechanismy, a to selektivní dostupnost a tzv. Anti-Spoofing.

6.1.1. Selektivní dostupnost

Selektivní dostupností se rozumí úmyslné zavádění proměnlivých chyb do signálů, které vysílají družice. Tímto způsobem je možné dosáhnout záměrné chyby až do 100m

v horizontální poloze. Ovlivnění signálu se provádí zaváděním předem definovaných proměnlivých chyb do efemerid nebo zaváděním fluktuací frekvence hodin na družicích. Oba tyto způsoby mohou být použity samostatně nebo se může použít kombinace obou.

6.1.2. Anti-Spoofing

Při aktivaci Anti-Spoofingu dochází k průběžnému šifrování P-kódu. Manipulace se signály je tímto výrazně omezená. Pro civilní aplikace to znamená, že není možno používat P-kód. Anti-Spoofing je aktivní od 31.1.1994, a proto je P-kód prakticky nedostupný.

6.2. Stav družic

Zjišťování stavu družic probíhá automaticky a ze strany řídicího segmentu. Každá družice posílá v navigační zprávě její stav. Díky tomuto může být jakákoliv družice označena jako “nezdravá” a přijímač jí nepoužije k žádným výpočtům až do doby, kdy je družice v pořádku. K tomuto dochází při korekcích oběžných drah nebo hodin, po vypuštění družice na oběžnou dráhu do doby, kdy je uvedena na své správné místo nebo při nápravě abnormálního chování družice – družice začne poskakovat a musí být stabilizována.

6.3. Rozsah přesnosti měření

V navigační zprávě je mimo jiné uváděna i hodnota rozsahu měření. Je to statistický údaj, predikce přesnosti měření s využitím dané družice. Pokud je hodnota tohoto parametru větší než 30, je pravděpodobně aktivována selektivní dostupnost.[4]

6.4. Poměr signál/šum

Tento poměr charakterizuje míru obsahu užitečných informací a šumu. Čím má poměr nižší hodnotu, tím slabší je užitečný signál. Signály, které vysílají družice, jsou relativně slabé a při hlasitém šumu okolního prostředí se stávají měření méně přesná.

6.5. Vícecestné šíření

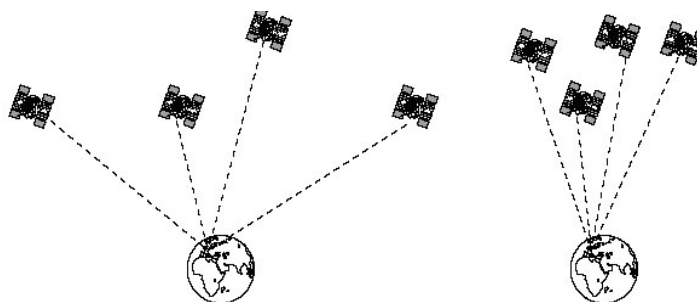
Vícecestné šíření signálu (Multipath) vznikne tehdy, když je anténa přijímače v blízkosti okolních objektů a ploch s vysoce odrazným povrchem. O tyto objekty se signál odrazí a přijímač potom přijme dva signály, a to přímý signál z družice a nepřímý signál, který vznikl odrazem z jiného místa. Interference těchto dvou signálů zapříčiní chybné určení zdánlivé vzdálenosti mezi přijímačem a družicí. Největší vliv nastává u družic letících nízko nad obzorem. Z tohoto důvodu se v přijímači nastavuje elevační úhel 15° . Multipath působí jen při velmi přesných měření a omezuje se užíváním speciálních antén.

6.6. Počet viditelných družic

Pro určení všech tří polohových souřadnic a času musí přijímač přijímat signály nejméně ze čtyř družic. Ale pro přesnější měření je dobré použít co nejvíce družic. Čím je zaměřeno více družic, tím lépe.

6.7. Geometrické uspořádání viditelných družic

Přesnost určování polohy je závislá na geometrickém uspořádání družic. Když se družice nachází v úzkém prostoru blízko sebe, tak je určení polohy méně přesné. Od tohoto je odvozené tzv. snížení přesnosti (Dilution of Precision - DOP). Číselná hodnota DOP nám udává kvalitu určení polohy. Nižší hodnota DOP určuje, že určení polohy a času dosahuje vyšší přesnosti.



Obrázek 6 - Geometrie družic, vlevo dobrá, vpravo špatná

Pro různé rozměry jsou počítány různé typy DOP:

GDOP – snížení přesnosti prostorové polohy a času

PDOP – snížení přesnosti v horizontální a vertikální poloze

HDOP – snížení přesnosti v horizontální poloze

VDOP – snížení přesnosti ve vertikální poloze

TDOP – posun hodin

6.8. Platnost efemerid

V každé navigační zprávě jsou obsaženy i aktuální efemeridy družic. Efemeridy jsou parametry oběžných drah družic GNSS a oprav chodu jejich hodin. Využívají se při určování polohy a času přijímačem GNSS. Jsou proměnlivé v čase. Efemeridy jsou obvykle použitelné asi po dobu tři měsíců od jejich přijetí, pokud nedojde k zásahům do konstelace družic.

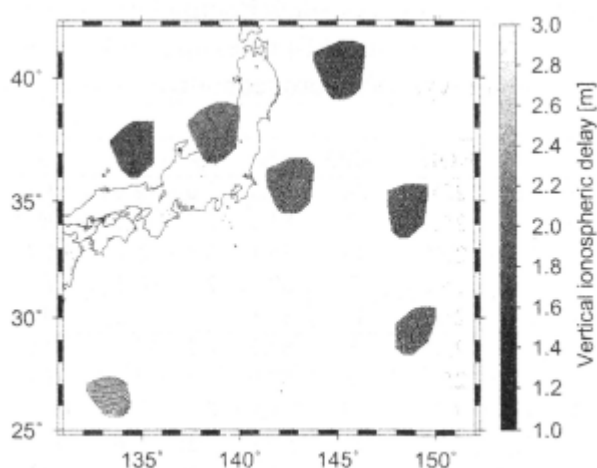
6.9. Vliv atmosféry

Elektromagnetické vlnění se v atmosféře šíří podle Fermatova principu. Šíří se po takové dráze, která je časově nejkratší. Při průchodu signálu atmosférou vzniká refrakce. Její velikost je závislá na prostředí, kterým paprsek prochází. Ionosféra je část atmosféry, kde se nachází volné elektrony a ionty. V prostoru se nachází mezi 50 až 1000 km od povrchu Země. Troposféra je vrstva atmosféry do 10 – 18 km. Šířka troposféry je závislá

na ročním období. V každé této vrstvě je signál ovlivňován jiným způsobem. Proto musíme rozlišovat ionosférickou a troposférickou refrakci.[2]

Ionosférická refrakce závisí na počtu volných elektronů v atmosféře. Její hodnota je různá pro kódová a fázová měření. Vyvolává změny v měřené délce v intervalu 0,15-0,5 m. Její vliv se odstraní použitím dvoufrekvenčních přijímačů.[2]

Pro modelování ionosféry se používá tzv. jednoslupkový model. V modelu je ionosféra nahrazena nekonečně tenkou slupkou přibližně 500 km nad povrchem Země. V každém bodu slupky je ionosféra popsána hodnotami TEC (Total Electron Content). Hodnoty TEC vyjadřují počet volných elektronů na plochu 1 m² ionosférické slupky. Tento model umožňuje řešení ambiguit pro základny delší než 100 km pouze na základě L1 pozorování. [9]



Obrázek 7 - Model ionosféry pro oblast Tsukuba-Tokyo, 15.3.2007 5:00[9]

Troposférická refrakce závisí na vzdálenosti, kterou signál urazí v neutrální atmosféře. Proto je závislá na elevačním úhlu družice. Pro výpočet troposférické refrakce se nejčastěji používá Saastamoinenův model. Síť permanentních stanic CZEPOS provádí sledování stavu sítě. Poskytuje informace o stavu zpoždění signálu vlivem troposféry a o velikostech korekcí. Troposféra je modelována dynamicky pro každou permanentní stanici zvlášť. Velikost chyby souřadnic vlivem troposférické refrakce dosahuje hodnot 2- 3 m,

ale používané modely jsou schopny ji eliminovat na minimální hodnotu. Tyto modely jsou zaváděny do výpočetních softwarů, které zpracovávají GNSS měření.[8]

7. Sítě permanentních GNSS stanic v ČR

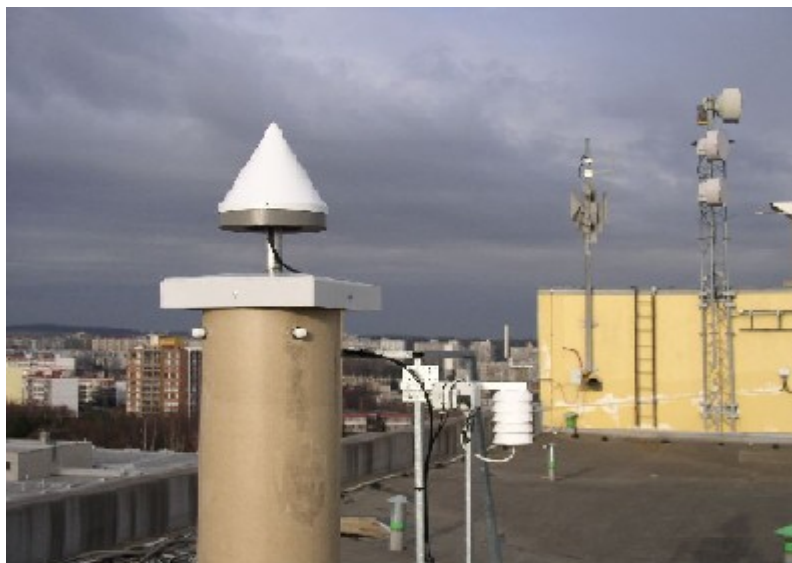
7.1. Česká síť permanentních stanic GNSS – CZEPOS[7],[5]

Princip sítě je založen na diferenčním GNSS měření. Pevné referenční stanice mají přesně určenou polohu v daném souřadnicovém systému. Na základě observace, která trvá 24 hodin denně, lze určit korekce z vlivu systematických chyb. Výsledná přesnost měření je ovlivněna vzdáleností referenční stanice od uživatelské aparatury. Maximální přípustná vzdálenost se uvádí kolem 40 km. „Síťové řešení“ je způsob výpočtu korekcí přímo pro zaměřovanou lokalitu. Tímto způsobem jsou získávány přesnější korekce.

Síť CZEPOS je součástí základního bodového pole, které tvoří podle zákona 200/1994 Sb. geodetické základy na území České Republiky a tvoří základ ETRF2000(R05) na území ČR. CZEPOS je spravován a provozován Zeměměřickým úřadem nařízením vlády 430/2006Sb. o stanovení geodetických referenčních systémů a státních mapových děl na území státu a zásadách jejich používání.

7.1.1. Rozložení stanic

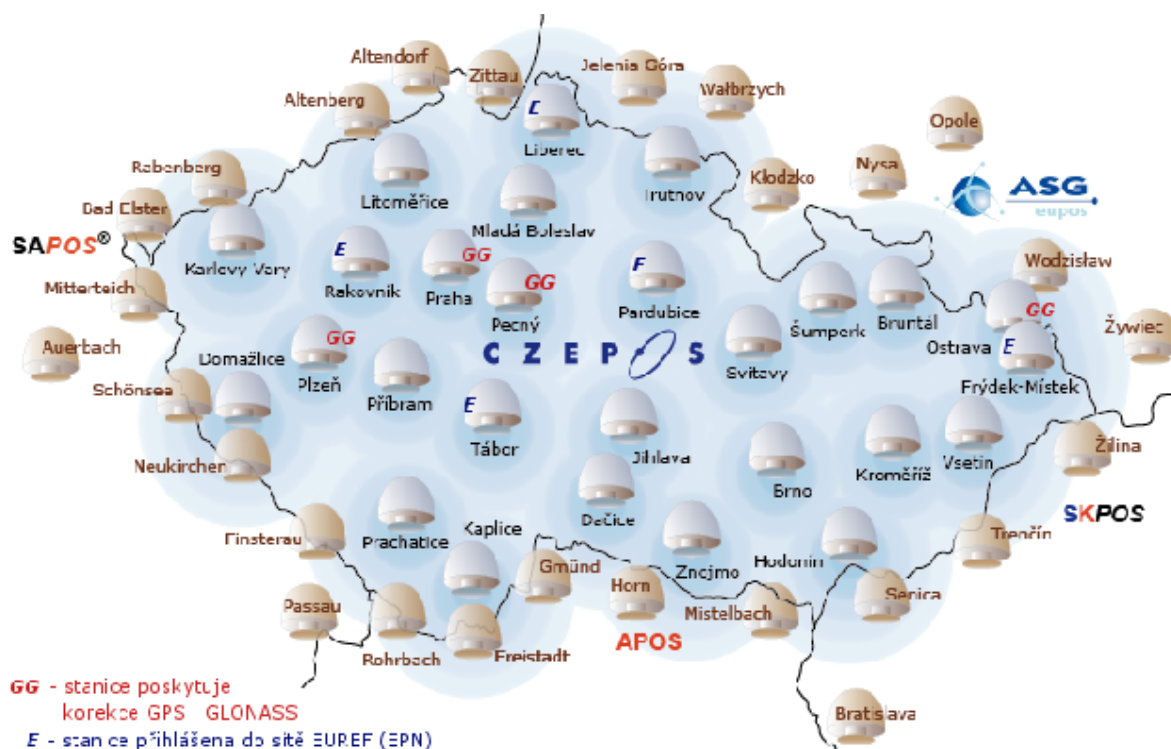
Původní síť, vybudovaná v roce 2005, obsahovala 26 stanic. Vzdálenost mezi jednotlivými stanicemi je přibližně 60 km. V roce 2006 byla nainstalována a spuštěna zatím poslední stanice v Praze. Dnešní konfigurace činí 27 stanic, z toho jsou 4 tzv. externí. Jedná se o stanice Ostrava, Brno, Pecný a Plzeň, které jsou spravovány vědeckými a akademickými pracovišti.



Obrázek 8 - Stanice Ostrava[12]

Stanice jsou umístěny na katastrálních úřadech, s výjimkou externích stanic, které jsou umístěny na akademických a vědeckých pracovištích (Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava; Vysoké učení technické v Brně; Západočeská univerzita v Brně; VÚGTK, Geodetická observatoř Pecný). Data s externích stanic jsou posílána přes internet na observatoř v Pecném, kde se nachází operační centrum.[5]

Od roku 2008 byly postupně připojovány stanice ze zahraničí podle mezinárodních dohod se zahraničními správci státních sítí GNSS. Tímto se zvýšila kvalita korekcí poskytovaných v příhraničních oblastech. Zároveň se snížila i maximální vzdálenost pozice uživatele k nejbližší stanici. V dnešní době je k síti CZEPOS připojeno 27 zahraničních stanic.

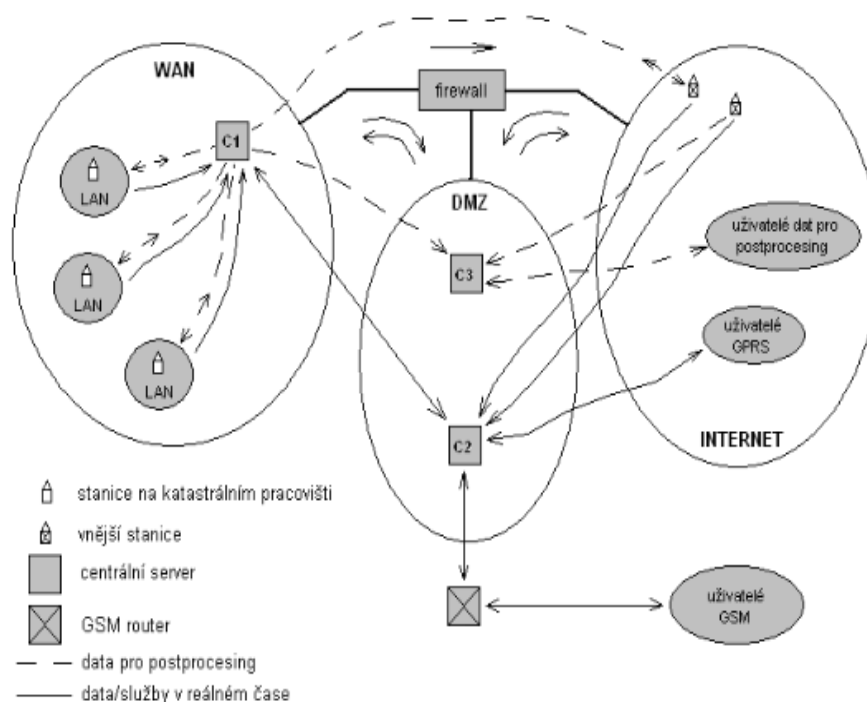


Obrázek 9 - Síť CZEPOS, zahraniční stanice[11]

7.1.2. Vybavení sítě

„Stanice jsou vybaveny dvoufrekvenčními aparaturami Leica GRX 1200 Pro a Choke Ring anténami Leica AT504 s ochranným krytem potlačující negativní vliv vícecestného šíření signálu. Externí stanice jsou taktéž vybaveny dvoufrekvenčními aparaturami a Choke Ring anténami různých výrobců (Ashtech, Leica, Topcon).“[5] Stanice v Praze je vybavena přijímačem Leica GRX 1200 GG Pro a anténou Leica AT504 GG Choke Ring. Jedná se o modifikace přijímače GRX 1200 Pro a antény AT504 určených pro příjem signálu z družic GPS i Glonass.

„Všechny stanice zajišťují nepřetržitý sběr dat s intervalem 1 sekunda při elevační masce 5°. Sbíraná data jsou registrována a distribuována na centrální servery v řídicím centru sítě CZEPOS.“[5]



Obrázek 10 - Rozmístění komponent CZEPOS a komunikace v počítačové síti [5]

7.2. TopNet

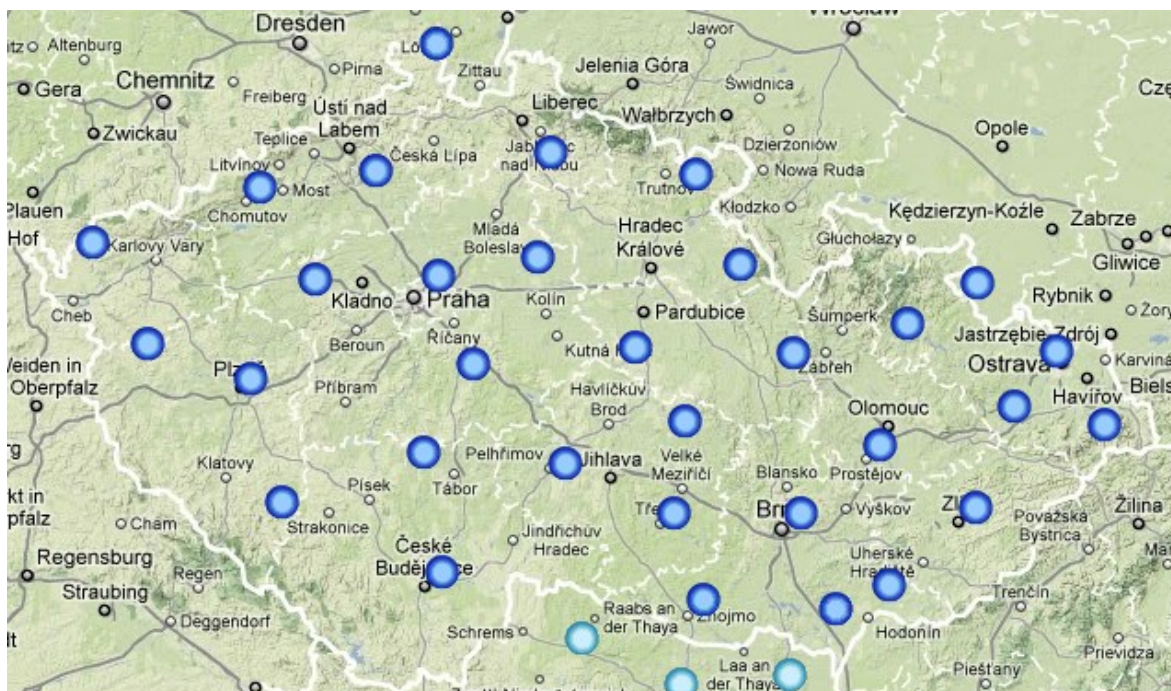
Tato síť permanentních GNSS stanic je provozována soukromou společností Geodis Brno, s.r.o. Poskytuje data z navigačních systémů GPS a Glonass a svými službami pokrývá celou Českou republiku.

7.2.1. Popis a vybavení sítě

První stanice byla vybudovaná v roce 2004 v Brně. V následujícím roce bylo vybudováno dalších pět stanic a firma Geodis s.r.o. převzala náklady na provoz šesti dalších stanic sítě GEONAS. V následujících letech, až do roku 2010 byly postupně budovány další stanice. Tímto se dokončilo pokrytí celé ČR RTK korekcemi a bylo spuštěno generování virtuálních referenčních stanic.

V dnešní době má síť TopNet 32 permanentních stanic. Průměrná vzdálenost stanic je 55 km a jsou rozloženy tak, aby celá Česká Republika byla pokryta RTK a VRS korekcemi. TopNet využívá stanice více provozovatelů. Geodis Brno s.r.o. provozuje 21

stanic, Ústav struktury a mechaniky hornin Akademie věd ČR provozuje 6 stanic, Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava provozuje 2 stanice a Západočeská univerzita v Plzni provozuje jednu stanici. Do sítě budou zapojeny i 3 stanice rakouské sítě EPOSA.



Obrázek 11- TopNet + 3 rakouské stanice [10]

Stanice jsou vybaveny přijímači Topcon GB-1000 a Net G3A s anténami Choke Ring TPS CR3GGD CONE a TPSCR.G3 TPSH se sněžným krytem, které umožňují příjem signálů z družic GPS i Glonass.[10]

8. Vyhodnocení dat

8.1. Příprava dat

Pro účely této diplomové práce byly z archivu Českého hydrometeorologického ústavu zjištěny data a časy, kdy se vyskytovaly bouřky nad městy Praha a Rakovník. Tato města byla zvolena záměrně kvůli výskytu permanentních stanic CZEPOS i TopNet. Ze

zjištěných informací o bouřkách bylo zvoleno datum 15.8.2010, kdy se vyskytovala bouřka nad Prahou. Byla to blízká bouřka o intenzitě 2, což je dle meteorologické stupnice silná bouřka. Doba trvání bouřky byla od 19:23 do 21:30 místního času. Další bouřka trvala v Praze od 21:50 do 23:25. Byla to mírná bouřka o intenzitě 1.

Ze sítě CZEPOS byla získána vteřinová data pro obě permanentní stanice z 15.8.2010 od 15:00 do 16.8.2010 03:00 času GNSS. Ze sítě TopNet byla získána data z celého dne 15.8.2010. Ze stanice Praha byla získána vteřinová data a ze stanice Rakovník data patnáctivteřinová. Všechna data byla ve formátu Rinex verze 2.11. Rozdíl mezi GNSS časem a letním časem v České republice je dvě hodiny:

$$\text{Čas GNSS} + 2\text{h} = \text{letní čas v ČR}$$

8.1.1. Rinex

Rinex formát měřených GNSS dat je formát umožňující datové přenosy mezi různými typy GNSS aparatur a vyhodnocovacími programovými systémy. Každý takový soubor se skládá ze záhlaví a části obsahující vlastní data. V záhlaví jsou uvedeny informace o verzi Rinexu, název stanice, informace o anténě, doba observace, interval zápisu, atd. Záhlaví je ukončeno textem „end of header“. Poté následuje čas s vlastními daty, kde je uvedeno datum, čas observace a data z jednotlivých družic. Rinex soubory se dají libovolně upravovat podle vlastních požadavků.

8.2. Úprava dat a výpočty

Před samotnými výpočty bylo nutné upravit jednotlivé Rinex soubory. Data ze stanic v Rakovníku byla ponechána v původní velikosti. Data ze stanic z Prahy byla navíc rozdělena následujícím způsobem:

Ze stanice CZEPOS - po hodině a po 45 minutách

Ze stanice TopNet - po hodině a po 15 minutách

Po těchto úpravách bylo možné začít s vlastními výpočty. Výpočty byly provedeny metodou post-processing.

Pro výpočet byl použit program Trimble Business Center v. 1.12 a elevační maska byla nastavena na hodnotu 10° . Postup výpočtu je následující: Do programu se naimportují Rinex data a soubory s efemeridami. Tyto soubory byly dodány s Rinex daty. Rinex soubory jsou poskytovány ve formátu *.rxo, popř. *.10o. Efemeridy jsou poskytovány ve formátu *.rxn, popř. *.10n. V případě, že by efemeridy nebyly dostupné v Rinex datech, lze je stáhnout z internetu. Případně se dají použít přesné efemeridy, které jsou dostupné asi měsíc po měření zdarma na internetu. Poté se provede výpočet a vygeneruje se „report“, což je zpráva o dosažených výsledcích.

V této zprávě je obsaženo:

- stanice, mezi kterými byl proveden výpočet,
- začátek a konec observace,
- informace, zda byl výpočet proveden správně,
- přesnost v horizontální a vertikální rovině,
- geodetický azimut,
- velikost vektoru mezi stanicemi a převýšení.

Ze získaných dat byly vypočteny následující vektory:

- CRAK-CPRG...v intervalech 45 min a 60 min
- TRAK-CPRG...v intervalech 45 min a 60 min
- TPRA-CPRG...v intervalech 15 min a 60 min
- TPRA-CRAK...v intervalu 60 min
- TPRA-TRAK...v intervalu 60 min

Např. vektor CRAK-TPRA 60 je vektor mezi stanicemi CZEPOS Rakovník – TopNet Praha počítaný v intervalu 60 min.

Při výpočtu vektorů mezi stanicemi Praha a Rakovník byly zvoleny nejkratší možné intervaly 45 minut. Při zvolení kratší doby nebylo možno post-processingem vektor spočítat. Při výpočtu vektoru mezi stanicemi v Praze mohl být interval zkrácen na 15 minut.

8.3. Ověření funkčnosti

Pro ověření funkčnosti byly vypočítané hodnoty porovnány s nulovými stavy. Pro účel této diplomové práce byly vypočteny dva nulové stavy N1 a N2 pro každý jednotlivý vektor. Nulový stav N1 byl vypočten ze všech dostupných dat. Nulový stav N2 byl vypočten pouze z dat, které nebyly ovlivněny bouřkou. Hodnoty nulových stavů jsou uvedeny v následující tabulce.

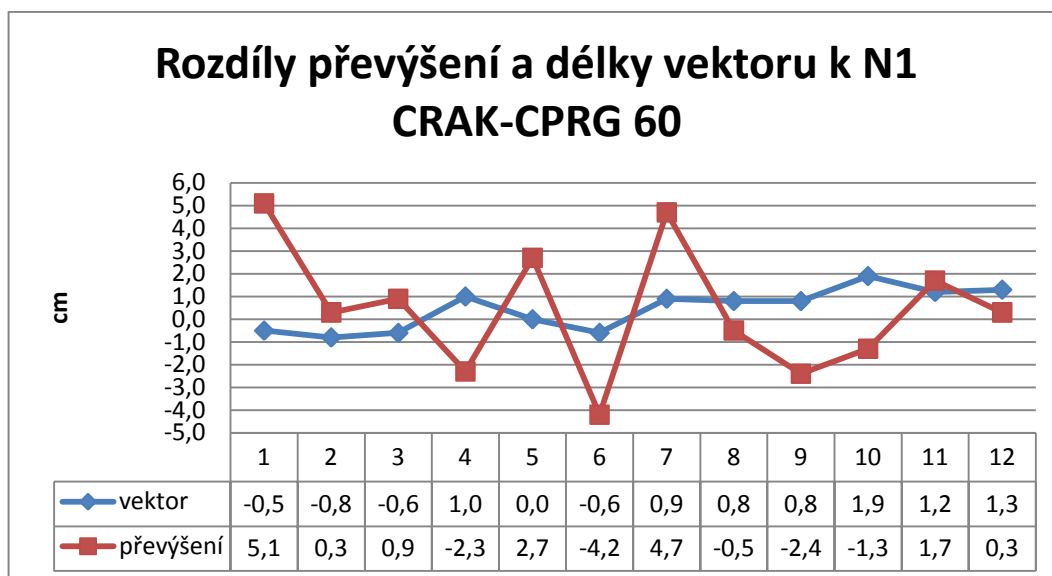
Tabulka 2 - Nulové stavy

	N1		N2	
stanice	vektor/[m]	převýšení/[m]	vektor/[m]	převýšení/[m]
crak-cprg	52048,795	-25,356	52048,806	-25,361
trak-cprg	52043,510	-24,187	52043,522	-24,193
tpa-cprg	962,243	-61,685	962,243	-61,684
tpa-crak	52560,066	-87,039	52560,069	-87,019
tpa-trak	52560,788	-85,875	52560,791	-85,890

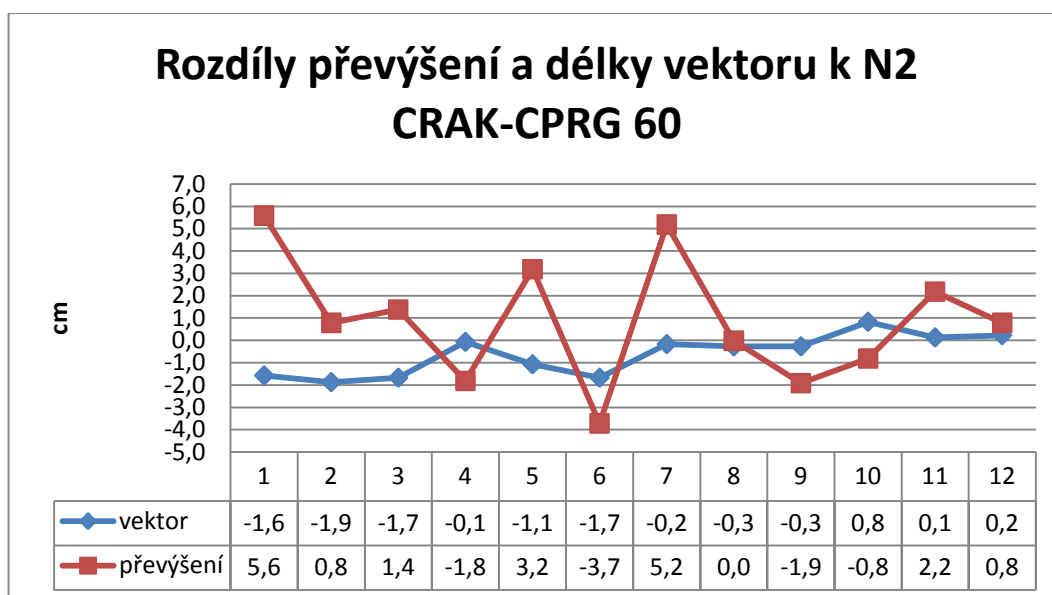
Rozdíly jednotlivých délek vektorů a převýšení jsou uvedeny v tabulkách na následujících stránkách. Pro názornost byly zhotoveny grafy. Výsledky všech měření jsou vyhotoveny tabelárně v příloze č. 1. Červené hodnoty vyjadřují vektory, které byly měřeny v bouři.

Tabulka 3 - CRAK-CPRG 60

CRAK-CPRG 60	doba observece		rozdíl vůči N1/[cm]		rozdíl vůči N2/[cm]	
	od	do	vektor	převýšení	vektor	převýšení
1	15.8.2010 16:59	15.8.2010 17:59	-0,5	5,1	-1,6	5,6
2	15.8.2010 17:59	15.8.2010 18:59	-0,8	0,3	-1,9	0,8
3	15.8.2010 18:59	15.8.2010 19:59	-0,6	0,9	-1,7	1,4
4	15.8.2010 19:59	15.8.2010 20:59	1,0	-2,3	-0,1	-1,8
5	15.8.2010 20:59	15.8.2010 21:59	0,0	2,7	-1,1	3,2
6	15.8.2010 21:59	15.8.2010 22:59	-0,6	-4,2	-1,7	-3,7
7	15.8.2010 22:59	15.8.2010 23:59	0,9	4,7	-0,2	5,2
8	15.8.2010 23:59	16.8.2010 0:59	0,8	-0,5	-0,3	0,0
9	16.8.2010 0:59	16.8.2010 1:59	0,8	-2,4	-0,3	-1,9
10	16.8.2010 1:59	16.8.2010 2:59	1,9	-1,3	0,8	-0,8
11	16.8.2010 2:59	16.8.2010 3:59	1,2	1,7	0,1	2,2
12	16.8.2010 3:59	16.8.2010 4:59	1,3	0,3	0,2	0,8



Obrázek 12 - Rozdíly převýšení a délky vektoru k N1 CRAK-CPRG 60

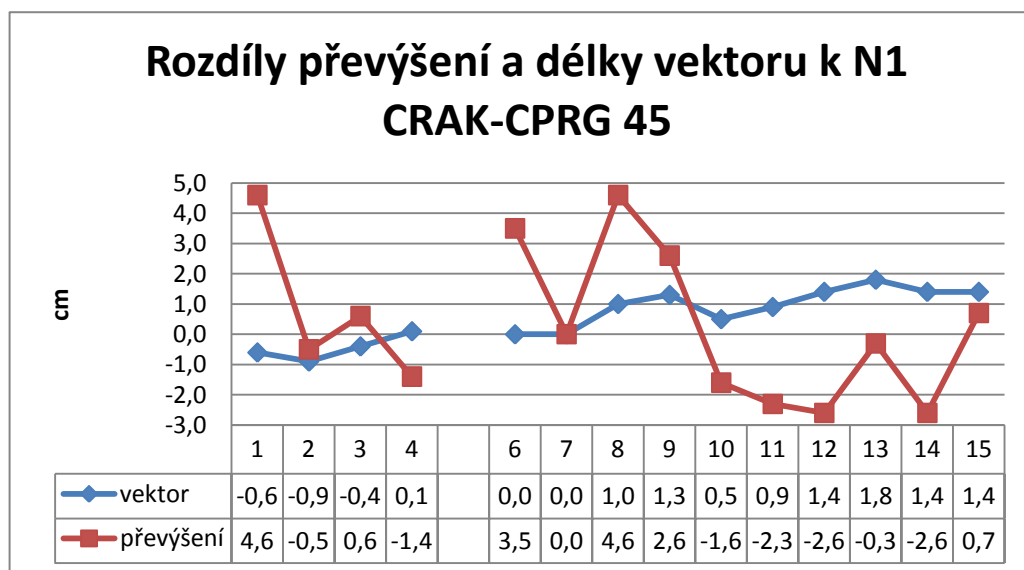


Obrázek 13 - Rozdíly převýšení a délky vektoru k N2 CRAK-CPRG 60

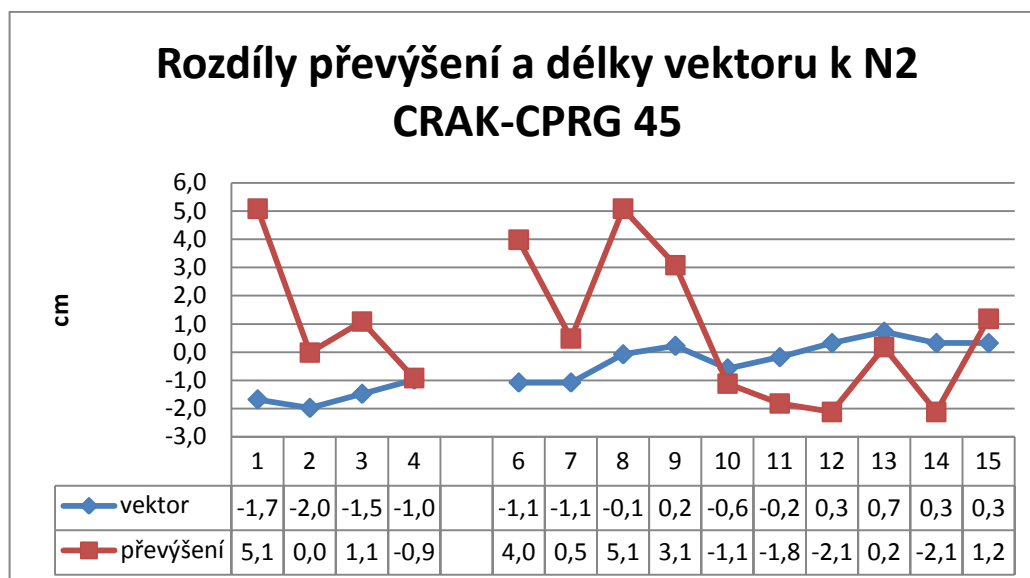
Z předchozích grafů jde vidět, že při bouřce začaly rozdíly měřených hodnot, především převýšení, narůstat a nejvyšších hodnot dosáhly na konci silné bouřky. K dalšímu výraznému skoku došlo při bouřce mírné a hodnoty se začaly ustalovat až po skončení bouřky. K nejvyššímu skoku došlo v době, kdy se velmi měnily atmosférické podmínky. Délka vektoru nebyla výrazně ovlivněna.

Tabulka 4 - CRAK-CPRG 45

CRAK-CPRG 45	doba observece		rozdíl vůči N1/[cm]		rozdíl vůči N2/[cm]	
	od	do	vektor	převýšení	vektor	převýšení
1	15.8.2010 17:29	15.8.2010 18:14	-0,6	4,6	-1,7	5,1
2	15.8.2010 18:14	15.8.2010 18:59	-0,9	-0,5	-2,0	0,0
3	15.8.2010 18:59	15.8.2010 19:44	-0,4	0,6	-1,5	1,1
4	15.8.2010 19:44	15.8.2010 20:29	0,1	-1,4	-1,0	-0,9
5	15.8.2010 20:29	15.8.2010 21:14	-	-	-	-
6	15.8.2010 21:14	15.8.2010 21:59	0,0	3,5	-1,1	4,0
7	15.8.2010 21:59	15.8.2010 22:44	0,0	0,0	-1,1	0,5
8	15.8.2010 22:44	15.8.2010 23:29	1,0	4,6	-0,1	5,1
9	15.8.2010 23:29	16.8.2010 0:14	1,3	2,6	0,2	3,1
10	16.8.2010 0:14	16.8.2010 0:59	0,5	-1,6	-0,6	-1,1
11	16.8.2010 0:59	16.8.2010 1:44	0,9	-2,3	-0,2	-1,8
12	16.8.2010 1:44	16.8.2010 2:29	1,4	-2,6	0,3	-2,1
13	16.8.2010 2:29	16.8.2010 3:14	1,8	-0,3	0,7	0,2
14	16.8.2010 3:14	16.8.2010 3:59	1,4	-2,6	0,3	-2,1
15	16.8.2010 3:59	16.8.2010 4:44	1,4	0,7	0,3	1,2



Obrázek 14 - Rozdíly převýšení a délky vektoru k N1 CRAK-CPRG 45

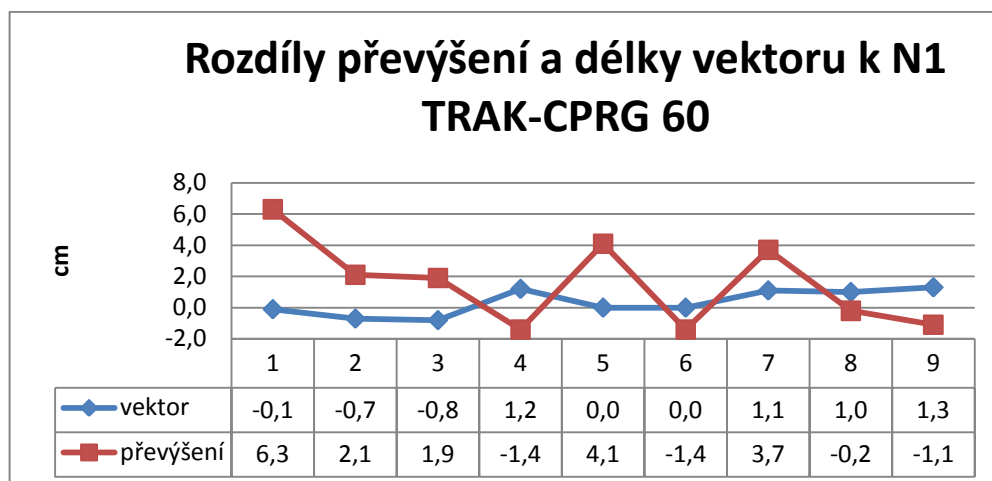


Obrázek 15 - Rozdíly převýšení a délky vektoru k N2 CRAK-CPRG 45

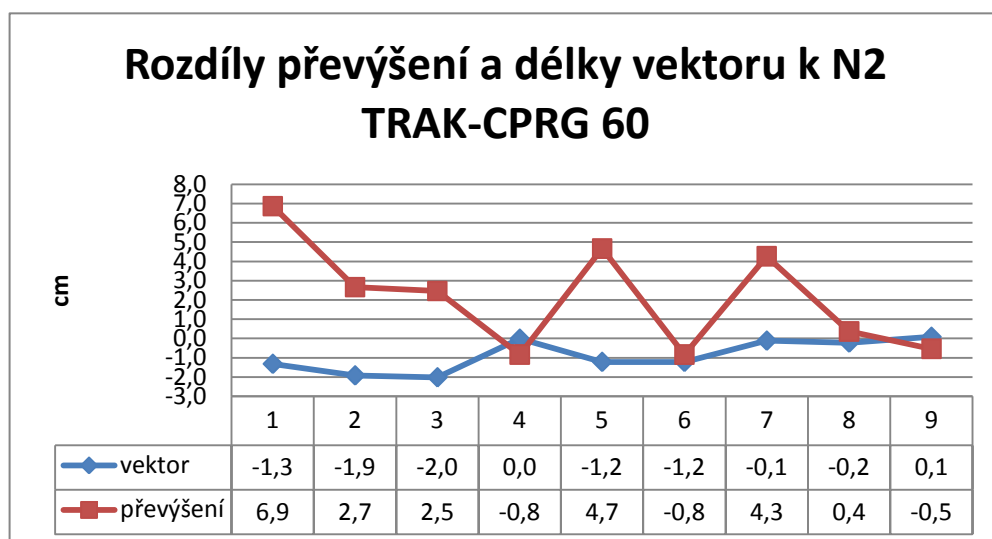
Z tabulky 4 a příslušných grafů je vidět, že k ovlivnění následkem bouřkové činnosti došlo. Je zřejmé, že v době od 20:30 do 21:15 byly podmínky tak nevyhovující, že příslušné hodnoty vektoru a převýšení nemohly být spočítány. Jak je vidět, tak ionosféra je narušena i v době po bouřce. V tomto případě to je až 2 hodiny po bouřce. Opět je výrazně ovlivněno především převýšení.

Tabulka 5 - TRAK-CPRG 60

TRAK-CPRG 60	doba observece		rozdíl vůči N1/[cm]		rozdíl vůči N2/[cm]	
	od	do	vektor	převýšení	vektor	převýšení
1	15.8.2010 16:59	15.8.2010 17:59	-0,1	6,3	-1,3	6,9
2	15.8.2010 17:59	15.8.2010 18:59	-0,7	2,1	-1,9	2,7
3	15.8.2010 18:59	15.8.2010 19:59	-0,8	1,9	-2,0	2,5
4	15.8.2010 19:59	15.8.2010 20:59	1,2	-1,4	0,0	-0,8
5	15.8.2010 20:59	15.8.2010 21:59	0,0	4,1	-1,2	4,7
6	15.8.2010 21:59	15.8.2010 22:59	0,0	-1,4	-1,2	-0,8
7	15.8.2010 22:59	15.8.2010 23:59	1,1	3,7	-0,1	4,3
8	15.8.2010 23:59	16.8.2010 0:59	1,0	-0,2	-0,2	0,4
9	16.8.2010 0:59	16.8.2010 1:59	1,3	-1,1	0,1	-0,5



Obrázek 16 - Rozdíly převýšení a délky vektoru k N1 TRAK-CPRG 60

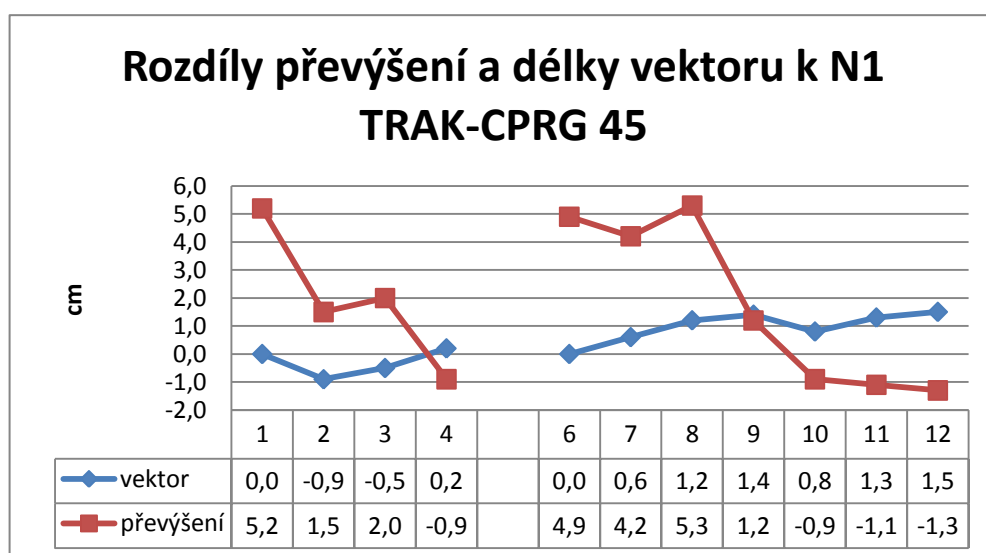


Obrázek 17 - Rozdíly převýšení a délky vektoru k N2 TRAK-CPRG 60

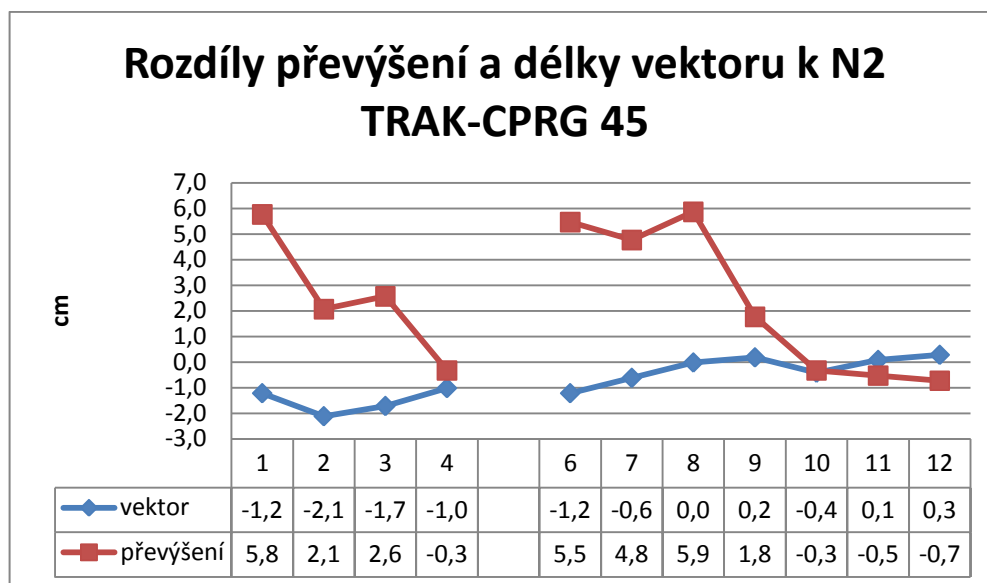
U dlouhého vektoru počítaného 60 minut dochází k ovlivnění především převýšení. A to i dvě hodiny po bouři.

Tabulka 6 - TRAK-CPRG 45

TRAK-CPRG 45	doba observece		rozdíl vůči N1/[cm]		rozdíl vůči N2/[cm]	
	od	do	vektor	převýšení	vektor	převýšení
1	15.8.2010 17:29	15.8.2010 18:14	0,0	5,2	-1,2	5,8
2	15.8.2010 18:14	15.8.2010 18:59	-0,9	1,5	-2,1	2,1
3	15.8.2010 18:59	15.8.2010 19:44	-0,5	2,0	-1,7	2,6
4	15.8.2010 19:44	15.8.2010 20:29	0,2	-0,9	-1,0	-0,3
5	15.8.2010 20:29	15.8.2010 21:14	-	-	-	-
6	15.8.2010 21:14	15.8.2010 21:59	0,0	4,9	-1,2	5,5
7	15.8.2010 21:59	15.8.2010 22:44	0,6	4,2	-0,6	4,8
8	15.8.2010 22:44	15.8.2010 23:29	1,2	5,3	0,0	5,9
9	15.8.2010 23:29	16.8.2010 0:14	1,4	1,2	0,2	1,8
10	16.8.2010 0:14	16.8.2010 0:59	0,8	-0,9	-0,4	-0,3
11	16.8.2010 0:59	16.8.2010 1:44	1,3	-1,1	0,1	-0,5
12	16.8.2010 1:44	16.8.2010 1:59	1,5	-1,3	0,3	-0,7



Obrázek 18 - Rozdíly převýšení a délky vektoru k N1 TRAK-CPRG 45

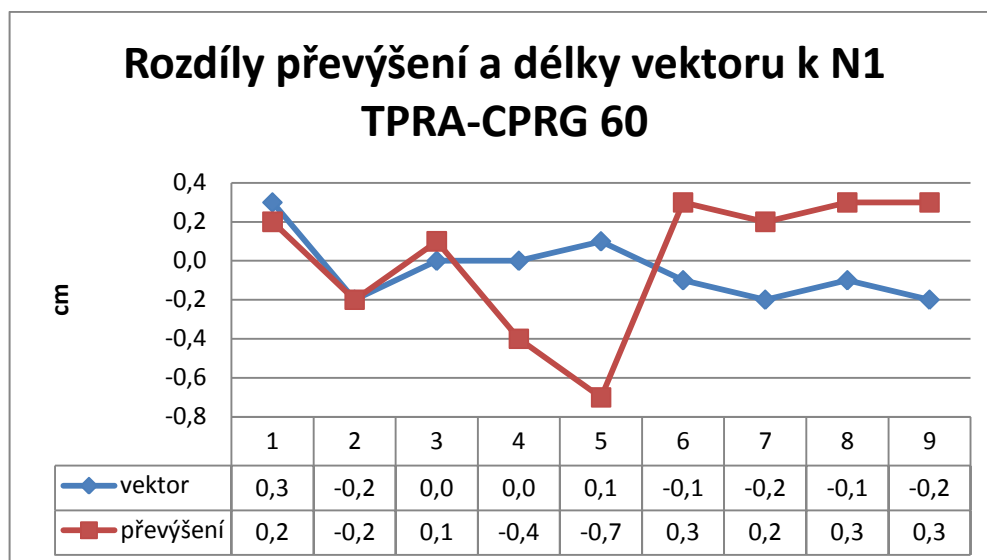


Obrázek 19 - Rozdíly převýšení a délky vektoru k N2 TRAK-CPRG 45

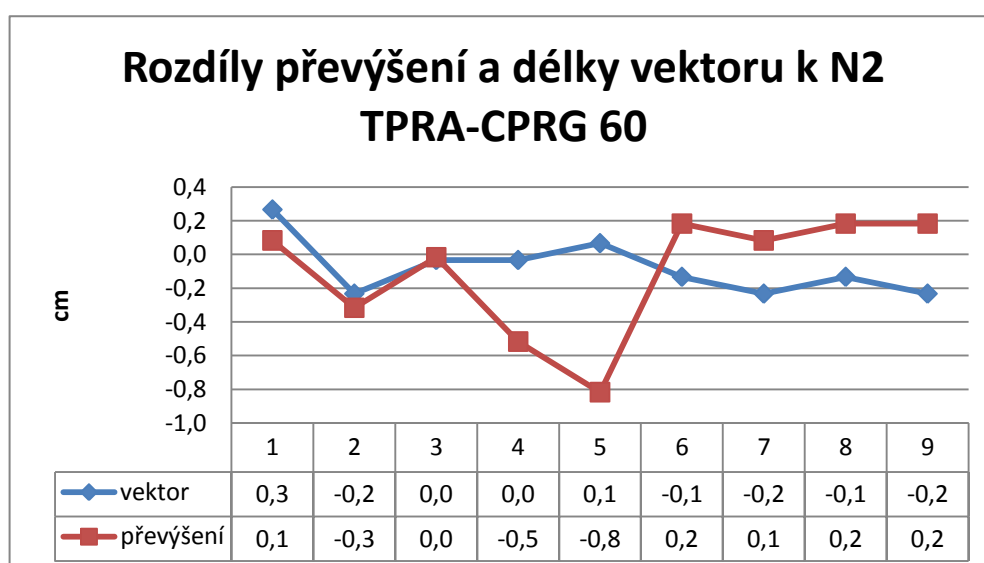
Dlouhý vektor počítaný na 45 minut je ovlivněn tak, že v době bouřky nelze spočítat ani délku ani převýšení. Situace se lepší u délky již na konci bouřky a u převýšení až 2,5 hodiny po bouřce.

Tabulka 7 - TPRA-CPRG 60

TPRA-CPRG 60	doba obseravece		rozdíl vůči N1/[cm]		rozdíl vůči N2/[cm]	
	od	do	vektor	převýšení	vektor	převýšení
1	15.8.2010 16:59	15.8.2010 17:59	0,3	0,2	0,3	0,1
2	15.8.2010 17:59	15.8.2010 18:59	-0,2	-0,2	-0,2	-0,3
3	15.8.2010 18:59	15.8.2010 19:59	0,0	0,1	0,0	0,0
4	15.8.2010 19:59	15.8.2010 20:59	0,0	-0,4	0,0	-0,5
5	15.8.2010 20:59	15.8.2010 21:59	0,1	-0,7	0,1	-0,8
6	15.8.2010 21:59	15.8.2010 22:59	-0,1	0,3	-0,1	0,2
7	15.8.2010 22:59	15.8.2010 23:59	-0,2	0,2	-0,2	0,1
8	15.8.2010 23:59	16.8.2010 0:59	-0,1	0,3	-0,1	0,2
9	16.8.2010 0:59	16.8.2010 1:58	-0,2	0,3	-0,2	0,2



Obrázek 20 - Rozdíly převýšení a délky vektoru k N1 TPRA-CPRG 60

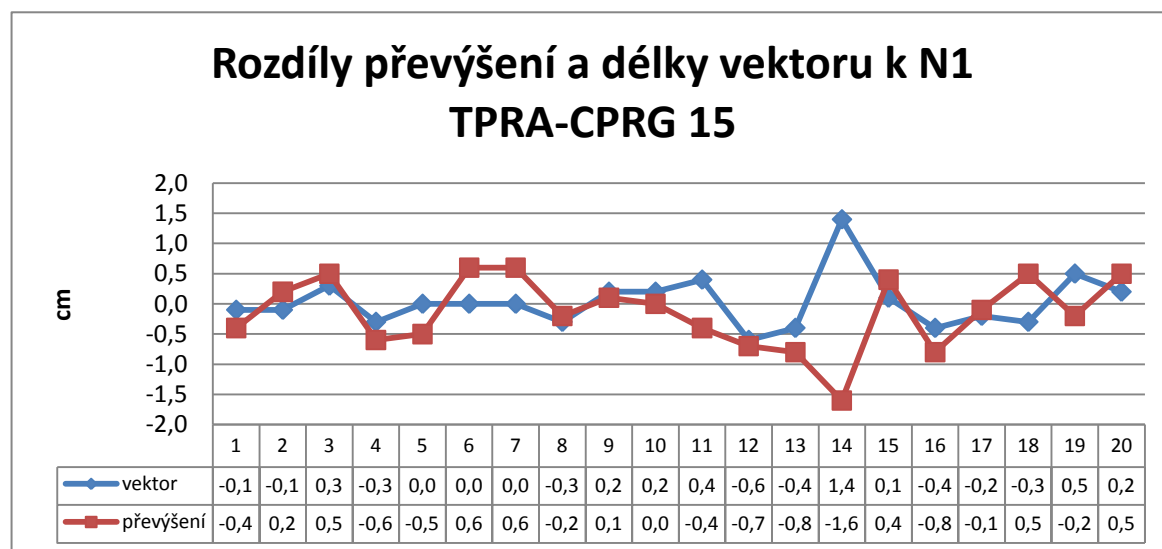


Obrázek 21 - Rozdíly převýšení a délky vektoru k N2 TPRA-CPRG 60

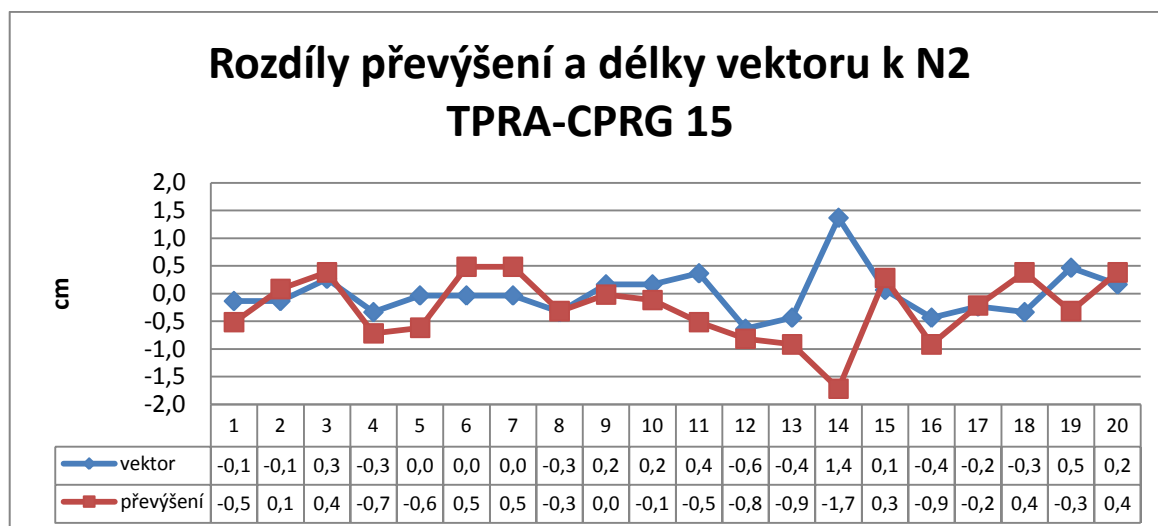
Krátký vektor počítaný na 60 minut lze spočítat i v bouřce a délka i převýšení je ovlivněno minimálně.

Tabulka 8 - TPRA-CPRG 15

TPRA-CPRG 15	doba observece		rozdíl vůči N1/[cm]		rozdíl vůči N2/[cm]	
	od	do	vektor	převýšení	vektor	převýšení
1	15.8.2010 17:59	15.8.2010 18:14	-0,1	-0,4	-0,1	-0,5
2	15.8.2010 18:14	15.8.2010 18:29	-0,1	0,2	-0,1	0,1
3	15.8.2010 18:29	15.8.2010 18:44	0,3	0,5	0,3	0,4
4	15.8.2010 18:44	15.8.2010 18:59	-0,3	-0,6	-0,3	-0,7
5	15.8.2010 18:59	15.8.2010 19:14	0,0	-0,5	0,0	-0,6
6	15.8.2010 19:14	15.8.2010 19:29	0,0	0,6	0,0	0,5
7	15.8.2010 19:29	15.8.2010 19:44	0,0	0,6	0,0	0,5
8	15.8.2010 19:44	15.8.2010 19:59	-0,3	-0,2	-0,3	-0,3
9	15.8.2010 19:59	15.8.2010 20:14	0,2	0,1	0,2	0,0
10	15.8.2010 20:14	15.8.2010 20:29	0,2	0,0	0,2	-0,1
11	15.8.2010 20:29	15.8.2010 20:44	0,4	-0,4	0,4	-0,5
12	15.8.2010 20:44	15.8.2010 20:59	-0,6	-0,7	-0,6	-0,8
13	15.8.2010 20:59	15.8.2010 21:14	-0,4	-0,8	-0,4	-0,9
14	15.8.2010 21:14	15.8.2010 21:29	1,4	-1,6	1,4	-1,7
15	15.8.2010 21:29	15.8.2010 21:44	0,1	0,4	0,1	0,3
16	15.8.2010 21:44	15.8.2010 21:59	-0,4	-0,8	-0,4	-0,9
17	15.8.2010 21:59	15.8.2010 22:14	-0,2	-0,1	-0,2	-0,2
18	15.8.2010 22:14	15.8.2010 22:29	-0,3	0,5	-0,3	0,4
19	15.8.2010 22:29	15.8.2010 22:44	0,5	-0,2	0,5	-0,3
20	15.8.2010 22:44	15.8.2010 22:59	0,2	0,5	0,2	0,4



Obrázek 22 - Rozdíly převýšení a délky vektoru k N1 TPRA-CPRG 15

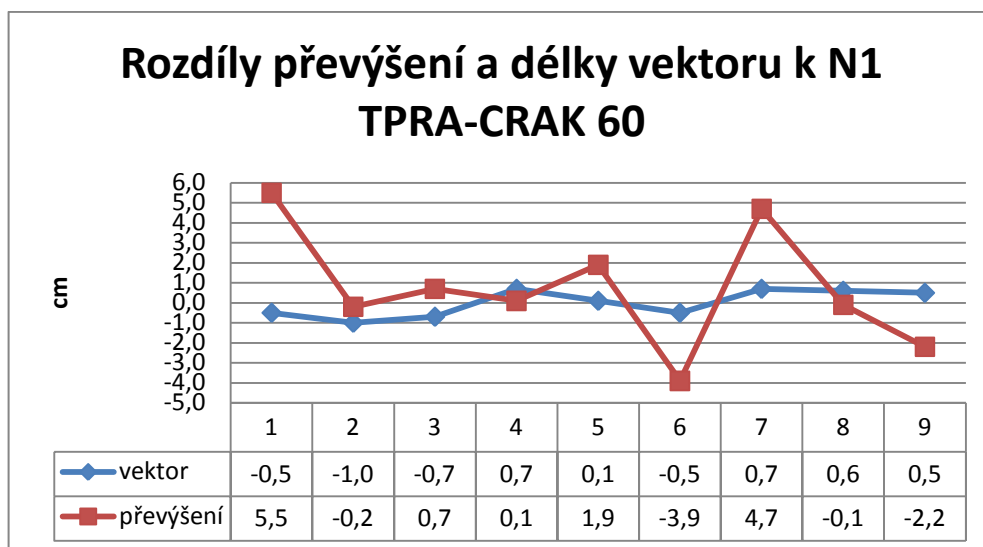


Obrázek 23 - Rozdíly převýšení a délky vektoru k N2 TPRA-CPRG 15

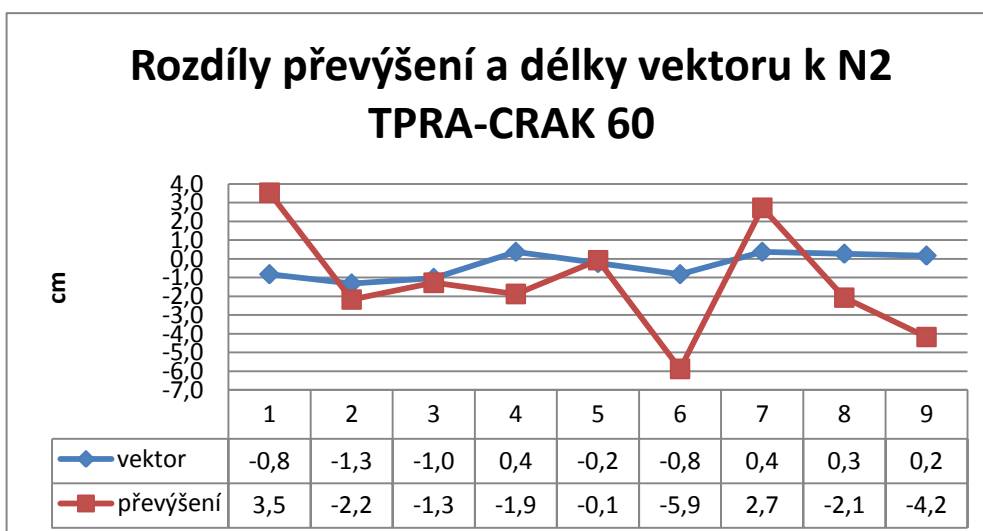
Z tabulky 8 a jí příslušných obrázků 22 a 23 lze vypožorovat, že při měření krátkého vektoru počítaného na 15 minut nedochází k tak výrazným odchylkám, jako při měření dlouhých vektorů. K nejvýraznějšímu skoku došlo opět až na konci silné bouřky, jako u výpočtu dlouhých vektorů. Ovšem maximální hodnota odchylky nepřesahuje v délce ani převýšení hodnotu 1,7cm.

Tabulka 9 - TPRA-CRAK 60

TPRA-CRAK 60	doba observece		rozdíl vůči N1/[cm]		rozdíl vůči N2/[cm]	
	od	do	vektor	převýšení	vektor	převýšení
1	15.8.2010 16:59	15.8.2010 17:59	-0,5	5,5	-0,8	3,5
2	15.8.2010 17:59	15.8.2010 18:59	-1,0	-0,2	-1,3	-2,2
3	15.8.2010 18:59	15.8.2010 19:59	-0,7	0,7	-1,0	-1,3
4	15.8.2010 19:59	15.8.2010 20:59	0,7	0,1	0,4	-1,9
5	15.8.2010 20:59	15.8.2010 21:59	0,1	1,9	-0,2	-0,1
6	15.8.2010 21:59	15.8.2010 22:59	-0,5	-3,9	-0,8	-5,9
7	15.8.2010 22:59	15.8.2010 23:59	0,7	4,7	0,4	2,7
8	15.8.2010 23:59	16.8.2010 0:59	0,6	-0,1	0,3	-2,1
9	16.8.2010 0:59	16.8.2010 1:58	0,5	-2,2	0,2	-4,2



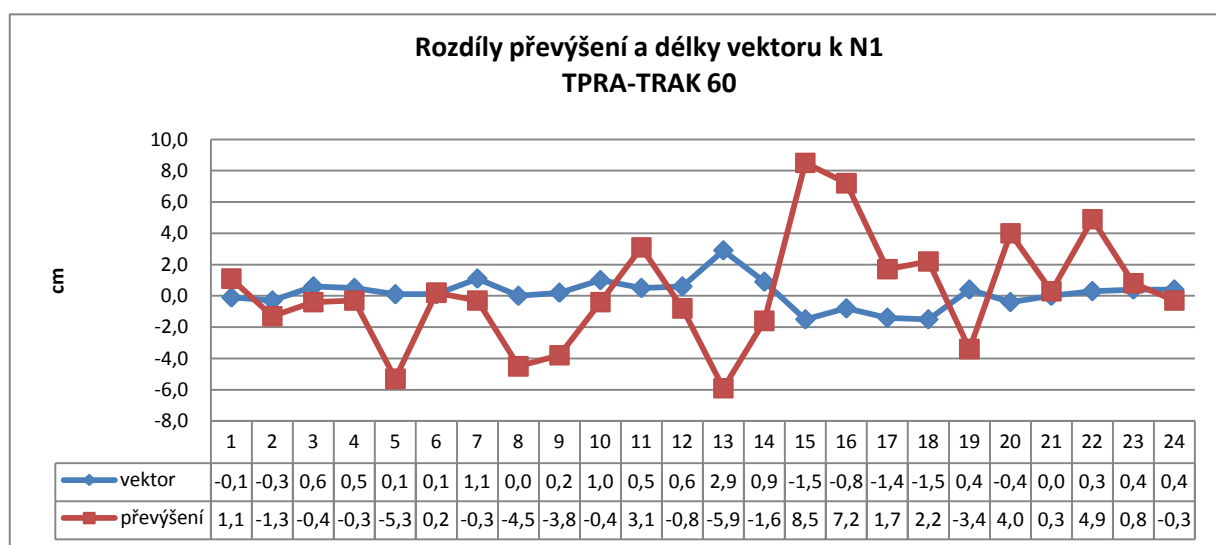
Obrázek 24 - Rozdíly převýšení a délky vektoru k N1 TPRA-CRAK 60



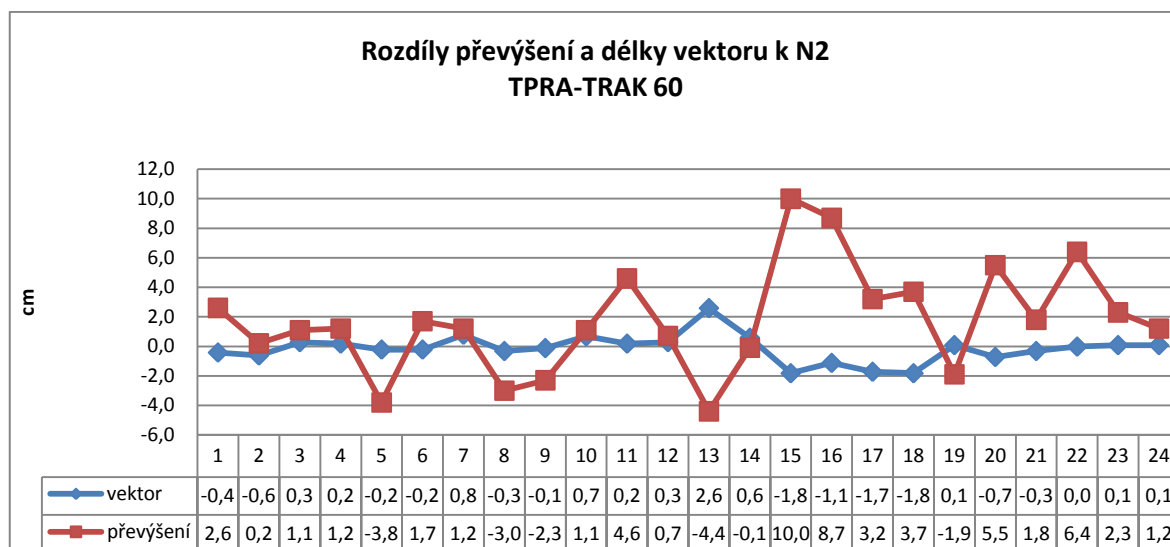
Obrázek 25 - Rozdíly převýšení a délky vektoru k N2 TPRA-CRAK 60

Tabulka 10 - TPRA-TRAK 60

TPRA-TRAK 60	doba observece		rozdíl vůči N1/[cm]		rozdíl vůči N2/[cm]	
	od	do	vektor	převýšení	vektor	převýšení
1	15.8.2010 1:59	15.8.2010 2:59	-0,1	1,1	-0,4	2,6
2	15.8.2010 2:59	15.8.2010 3:58	-0,3	-1,3	-0,6	0,2
3	15.8.2010 3:59	15.8.2010 4:58	0,6	-0,4	0,3	1,1
4	15.8.2010 4:59	15.8.2010 5:56	0,5	-0,3	0,2	1,2
5	15.8.2010 5:59	15.8.2010 6:59	0,1	-5,3	-0,2	-3,8
6	15.8.2010 6:59	15.8.2010 7:59	0,1	0,2	-0,2	1,7
7	15.8.2010 7:59	15.8.2010 8:59	1,1	-0,3	0,8	1,2
8	15.8.2010 8:59	15.8.2010 9:59	0,0	-4,5	-0,3	-3,0
9	15.8.2010 9:59	15.8.2010 10:58	0,2	-3,8	-0,1	-2,3
10	15.8.2010 10:59	15.8.2010 11:59	1,0	-0,4	0,7	1,1
11	15.8.2010 11:59	15.8.2010 12:59	0,5	3,1	0,2	4,6
12	15.8.2010 12:59	15.8.2010 13:59	0,6	-0,8	0,3	0,7
13	15.8.2010 13:59	15.8.2010 14:59	2,9	-5,9	2,6	-4,4
14	15.8.2010 14:59	15.8.2010 15:59	0,9	-1,6	0,6	-0,1
15	15.8.2010 15:59	15.8.2010 16:59	-1,5	8,5	-1,8	10,0
16	15.8.2010 16:59	15.8.2010 17:59	-0,8	7,2	-1,1	8,7
17	15.8.2010 17:59	15.8.2010 18:59	-1,4	1,7	-1,7	3,2
18	15.8.2010 18:59	15.8.2010 19:59	-1,5	2,2	-1,8	3,7
19	15.8.2010 19:59	15.8.2010 20:59	0,4	-3,4	0,1	-1,9
20	15.8.2010 20:59	15.8.2010 21:59	-0,4	4,0	-0,7	5,5
21	15.8.2010 21:59	15.8.2010 22:59	0,0	0,3	-0,3	1,8
22	15.8.2010 22:59	15.8.2010 23:59	0,3	4,9	0,0	6,4
23	15.8.2010 23:59	16.8.2010 0:59	0,4	0,8	0,1	2,3
24	16.8.2010 0:59	16.8.2010 1:58	0,4	-0,3	0,1	1,2



Obrázek 26 - Rozdíly převýšení a délky vektoru k N1 TPRA-TRAK 60



Obrázek 27 - Rozdíly převýšení a délky vektoru k N2 TPRA-TRAK 60

Z tabulky 10 a obrázků 26 a 27 je zřejmé, že v tomto případě bouřka ovlivnila přesnost měření délek zanedbatelně a převýšení začalo kolísat už 2 hodiny před bouřkou.

9. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo ověření funkčnosti měření pomocí technologie GNSS při elektromagnetických projevech atmosférických jevů. Z výsledných rozdílů délek vektorů a převýšení je zřejmé, že bouřková činnost ovlivňuje měření GNSS. Dosažené výsledky jsou závislé na délce vektoru, který je měřen a následně vypočten. V našem případě byl krátký vektor o délce cca 960 m ovlivněn minimálně a dlouhý vektor o délce cca 52 km nebylo možno spočítat. Při klidné atmosféře dosahují výsledky minimálních rozdílů. Při bouřkách se začnou podmínky v atmosféře měnit a výsledné měření je ovlivněno. K největším ovlivněním docházelo, když se během chvíle měnily podmínky v atmosféře. Jednalo se o opakovanou bouřku, i když ne stejné intenzity. V této době dosahovaly výsledky nejvýraznějších skoků. Bouřka se více projevovala na rozdílu převýšení než na délce vektoru.

K ověření funkčnosti bylo k dispozici velké množství podrobných vteřinových dat. Ze zvolené metody vyhodnocení je vidět, že měření byla ovlivněna. Vhodnější by bylo zvolit jinou metodu. Vteřinová Rinx data jsou velmi podrobná, ale pro účely této diplomové práce by stačila data méně podrobná. Na obrázku 26 a 27 jsou vidět výrazné skoky v poledních a odpoledních hodinách. Ty by mohly být zapříčiněny sluneční činností nebo závadou na anténě permanentní stanice. Pro lepší vyhodnocení problému by bylo dobré zvolit jiný soubor dat. Vhodné by bylo vzít data v delším časovém intervalu a porovnat více měření, ovlivněných bouřkovou činností. Do porovnání by bylo dobré zahrnout i bouřku v nočních hodinách, kdy je ionosféra klidná a není ovlivněna sluneční činností.

Z výsledků vyplývá, že měření převýšení je ovlivněno bouřkou až dvě hodiny před a dvě hodiny po bouřce. Pro přesnější měření GNSS je tedy nutné aktuálně sledovat radarová data a podle výskytu bouřek plánovat doby observace.

10. Seznam použité literatury

- [1] MERVART, L, CIMBÁLNÍK, M.: Vyšší geodézie 2, ČVUT Praha 1997
- [2] ŠVÁBENSKÝ, O., FIXEL, J., WEIGEL, J.: Základy GPS a jeho praktická aplikace, VUT Brno 1995
- [3] SCHENK, J.: Globální polohové systémy v geodézii, VŠB-TU Ostrava 2003
- [4] RAPANT, P.: Družicové polohové systémy, VŠB-TU Ostrava 2002
- [5] VILÍMKOVÁ, M.: Testování sítě CZEPOS, Diplomová práce ČVUT Praha 2006
- [6] VĚTROVSKÝ, M.: Přesnost měření metodou GPS na Dolech Nástup Tušimice, Diplomová práce VŠB-TU Ostrava 2009
- [7] Česká síť permanentních stanic GNSS Přehledná Zpráva 2009, Zeměměřický úřad
- [8] NÁGL, J.: Zkušenosti s modelováním troposféry v sítích APOS a CZEPOS, Družicové metody v geodetické praxi, Sborník referátů Brno 2008
- [9] LUKEŠ, Z., MERVART, L.: Modelování ionosférického zpoždění pro zpracování dat jednofrekvenčních GPS přijímačů v reálném čase, Družicové metody v geodetické praxi, Sborník referátů Brno 2008

INTERNETOVÉ ZDROJE

- [10] <http://topnet.geodis.cz> ze dne 15.2.2011
- [11] <http://czepos.cuzk.cz> ze dne 24.2.2011
- [12] <http://klokan.vsb.cz/gps/> ze dne 10.3.2011
- [13] www.vugtk.cz/slovník ze dne 20.4.2011

11. Seznam obrázků

Obrázek 1 - Rozmístění družic[6].....	11
Obrázek 2 - Princip stanovení polohy[3].....	14
Obrázek 3 - Struktura družicového signálu[3].....	16
Obrázek 4 - Jednoduchá diference.....	18
Obrázek 5 - Vlevo dvojité diference, vpravo trojitá diference	19
Obrázek 6 - Geometrie družic, vlevo dobrá, vpravo špatná	24
Obrázek 7 - Model ionosféry pro oblast Tsukuba-Tokyo, 15.3.2007 5:00[9].....	25
Obrázek 8 - Stanice Ostrava[12].....	27
Obrázek 9 - Síť CZEPOS, zahraniční stanice[11]	28
Obrázek 10 - Rozmístění komponent CZEPOS a komunikace v počítačové síti [5]	29
Obrázek 11- TopNet + 3 rakouské stanice [10].....	30
Obrázek 12 - Rozdíly převýšení a délky vektoru k N1 CRAK-CPRG 60.....	34
Obrázek 13 - Rozdíly převýšení a délky vektoru k N2 CRAK-CPRG 60.....	34
Obrázek 14 - Rozdíly převýšení a délky vektoru k N1 CRAK-CPRG 45.....	35
Obrázek 15 - Rozdíly převýšení a délky vektoru k N2 CRAK-CPRG 45.....	36
Obrázek 16 - Rozdíly převýšení a délky vektoru k N1 TRAK-CPRG 60.....	37
Obrázek 17 - Rozdíly převýšení a délky vektoru k N2 TRAK-CPRG 60.....	37
Obrázek 18 - Rozdíly převýšení a délky vektoru k N1 TRAK-CPRG 45.....	38
Obrázek 19 - Rozdíly převýšení a délky vektoru k N2 TRAK-CPRG 45.....	39
Obrázek 20 - Rozdíly převýšení a délky vektoru k N1 TPRA-CPRG 60.....	40
Obrázek 21 - Rozdíly převýšení a délky vektoru k N2 TPRA-CPRG 60.....	40
Obrázek 22 - Rozdíly převýšení a délky vektoru k N1 TPRA-CPRG 15.....	41
Obrázek 23 - Rozdíly převýšení a délky vektoru k N2 TPRA-CPRG 15.....	42
Obrázek 24 - Rozdíly převýšení a délky vektoru k N1 TPRA-CRAK 60.....	43
Obrázek 25 - Rozdíly převýšení a délky vektoru k N2 TPRA-CRAK 60.....	43
Obrázek 26 - Rozdíly převýšení a délky vektoru k N1 TPRA-TRAK 60	44
Obrázek 27 - Rozdíly převýšení a délky vektoru k N2 TPRA-TRAK 60	45

12. Seznam tabulek

Tabulka 1 - Přehled vyloučených a zmenšených vlivů při různých diferencích	19
Tabulka 2 - Nulové stavy	33
Tabulka 3 - CRAK-CPRG 60	33
Tabulka 4 - CRAK-CPRG 45	35
Tabulka 5 - TRAK-CPRG 60	36
Tabulka 6 - TRAK-CPRG 45	38
Tabulka 7 - TPRA-CPRG 60	39
Tabulka 8 - TPRA-CPRG 15	41
Tabulka 9 - TPRA-CRAK 60	42
Tabulka 10 - TPRA-TRAK 60	44

13. Přílohy

Příloha č.1 - Výsledky měření

Příloha č.2 – Ukázka souboru Rinex

Příloha č.3 – Časové řady CRAK-CPRG